



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN EFECTOS EN LA CURVA DE CARGA
DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL Y ESTIMACIÓN DE LOS
COMBUSTIBLES A UTILIZAR EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA AL REALIZAR UN CAMBIO DE HORA EN GUATEMALA**

Javier Antonio Montenegro Gallardo

Asesorado por el MSc. Ing. Roberto José Orozco Molina

Guatemala, septiembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN EFECTOS EN LA CURVA DE CARGA
DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL Y ESTIMACIÓN DE LOS
COMBUSTIBLES A UTILIZAR EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA AL REALIZAR UN CAMBIO DE HORA EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JAVIER ANTONIO MONTENEGRO GALLARDO
ASESORADO POR EL MSC. ING. ROBERTO JOSÉ OROZCO MOLINA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2015

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. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
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 EFECTOS EN LA CURVA DE CARGA
DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL Y ESTIMACIÓN DE LOS
COMBUSTIBLES A UTILIZAR EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA AL REALIZAR UN CAMBIO DE HORA EN GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 24 de marzo de 2015.



Javier Antonio Montenegro Gallardo



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



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

10 007 56

MOD-MEAPP-0007-2014

Guatemala, 15 de noviembre de 2014.

Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica-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 estudiante **Javier Antonio Montenegro Gallardo** con carné número **2005-15910**, 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"

Roberto José Orozco Molina
Ingeniero Electrónico
Colegiado No. 10,610

Msc. Ing. Roberto José Orozco Molina
Asesor (a)

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

Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Área
Desarrollo social y energético

[Signature]
Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE POST-GRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
DE GUATEMALA

Cc: archivo
/db



REF. EIME 62.2015.
24 DE marzo 2015.

FACULTAD DE INGENIERIA

Doctora
Mayra Virginia Castillo Montes
Directora Escuela de Estudios de Postgrados
Presente.

Estimada Doctora Castillo:

Reciba un cordial y atento saludo, a la vez aprovecho la oportunidad para hacerle de su conocimiento que he revisado el: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN EFECTOS EN LA CURVA DE CARGA DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL Y ESTIMACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES A UTILIZAR EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA AL REALIZAR UN CAMBIO DE HORA EN GUATEMALA**, del estudiante **Javier Antonio Montenegro Gallardo**, quien se identifica con número de carné 2005-15910 y como Director de la Escuela Mecánica Eléctrica, doy el aval correspondiente para la aprobación del mismo.

Sin otro particular, atentamente.

ID Y ENSEÑAR A TODOS

Ing. Guillermo Antonio Puentes Romero
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



SFO

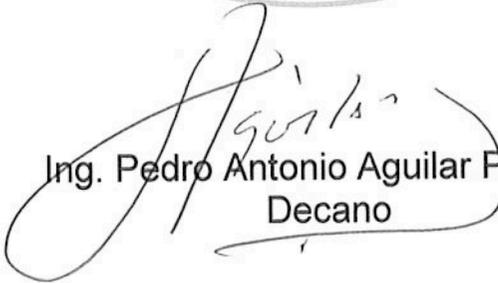


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.D.476-2015

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 EFECTOS EN LA CURVA DE CARGA DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL Y ESTIMACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES A UTILIZAR EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA AL REALIZAR UN CAMBIO DE HORA EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Javier Antonio Montenegro Gallardo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2015



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por brindarme sabiduría, inteligencia y perseverancia para alcanzar esta meta.
- Mis padres** José Antonio Montenegro y Cloni Gallardo de Montenegro, por darme la vida y ser un ejemplo para mí. Por todo el esfuerzo que hicieron para mi superación. Por estar en mi corazón aunque no estén cerca. Este triunfo también es de ustedes. Los amo.
- Mi hermana** Cloni Montenegro, por su apoyo y ánimo. Por enseñarme a ver las cosas de distintos ángulos. Porque siempre estuvo conmigo con aliento y consejos.
- Mi hermano** Darío Montenegro, por ser un ejemplo de constancia, perseverancia, sencillez y humildad ante cualquier situación.
- Mis sobrinos** Natalia y Miguel Montenegro, por compartir conmigo su alegría y contagiarme de entusiasmo todos los días.

Mi novia

Lorena Méndez, por llenar mis días de cariño y sonrisas. Por ser un ángel en mi vida, caminar junto a mí en la misma dirección, dedicarme su tiempo y nunca soltar mi mano.

Mi bisabuela

Natalia Cetino. Por estar conmigo y siempre creer en mí, llenar con su alegría la vida de toda mi familia. Por ser una mujer ejemplar y demostrármelo todos los días.

AGRADECIMIENTOS A:

Guatemala	Por ser mi hogar y por darme la oportunidad de crecer en un país tan hermoso.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de pertenecer a esta casa de estudios superiores y por mostrarme el camino para alcanzar esta meta.
Facultad de Ingeniería	Por aceptarme como estudiante de tan distinguida Facultad y por proporcionarme las herramientas para facilitar mi aprendizaje.
Mis amigos	En especial a Rodolfo Aldana y Alejandro Catalán, por trabajar siempre como un equipo durante los momentos más difíciles.
Mi asesor	Por compartir sus conocimientos de manera desinteresada y guiarme en este camino.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
INTRODUCCIÓN	XI
1. ANTECEDENTES	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
3. JUSTIFICACIÓN	9
4. OBJETIVOS	11
5. ALCANCES	13
6. MARCO TEÓRICO.....	15
6.1. Proyección de demanda energética en un mercado eléctrico ..	15
6.2. Estadística aplicada.....	16
6.3. Apuntes de estadística para ingenieros.....	17
6.4. Correlación y regresión, simple y múltiple	17
6.5. Energía proveniente del sol	18
6.6. Desarrollo sostenible	19
6.7. <i>California energy Commission, 2001. Effects of daylight saving time on California Electricity use. By A. Kandel</i>	

	<i>and D. Metz. Publication 400-01-013.....</i>	19
6.8.	<i>National Bureau of Economic Research, Cambridge, 2008: Does daylight saving time save energy? Evidence from natural experiment in Indiana</i>	21
6.9.	<i>The smart grid: an introduction.....</i>	25
6.10.	La hora oficial en España y sus cambios	26
6.11.	La “hora del planeta”: medio ambiente, capitalismo y globalización	26
6.12.	La generación eléctrica a partir de combustibles fósiles	27
6.13.	Manual de iluminación eficiente	27
6.14.	Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio	28
6.15.	Curso de inferencia estadística y del modelo lineal simple	29
7.	HIPÓTESIS.....	31
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	33
9.	METODOLOGÍA	37
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	41
11.	CRONOGRAMA	43
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	45
	BIBLIOGRAFÍA.....	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Observancia del cambio horario en el mundo	23
2.	Hora en que sale el sol en diferentes países	24
3.	Cronograma	43

TABLAS

I.	Efectos del DST detectados en el experimento de Indiana.....	21
II.	Salida y puesta del sol en Chile y EE.UU.....	24
III.	Recursos y materiales	46

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
kWh	Kilowatts hora
%	Porcentaje

GLOSARIO

Electricidad	Propiedad fundamental de la materia que se manifiesta por la atracción o repulsión entre sus partes.
Energía	Capacidad para realizar un trabajo.
Globalización	Tendencia de los mercados y de las empresas a extenderse, alcanzando una dimensión mundial.
Megavatio	Medida de potencia eléctrica que equivale a un millón de vatios.
Mercado Mayorista	Generadores, comercializadores, distribuidores, importadores, exportadores y transportistas cuyo tamaño supere el límite establecido en el reglamento de la ley general de electricidad de Guatemala.
Parámetro	Dato o factor que se toma como necesario para analizar o valorar una situación.
Sostenible	Proceso que puede mantenerse por sí mismo.

RESUMEN

Se determinó que es indispensable para Guatemala aumentar los esfuerzos para mejorar el uso de la energía eléctrica, con el fin de minimizar el uso de combustibles fósiles como materia prima. Se hizo una modelación de la demanda y generación en el sistema eléctrico nacional, utilizando datos históricos de las mismas variables, con el fin de comprobar resultados utilizando un cambio de hora.

Posteriormente se efectuaron ajustes a dicha modelación, minimizando de esta manera el margen de error y pudiendo así confirmar la razón fundamental de las variaciones.

El objetivo es determinar un proceso cuantitativo capaz de indicar si es o no beneficioso para Guatemala realizar un cambio de hora, y de serlo, en qué medida esto afecta a la operación de las centrales eléctricas que utilizan combustibles fósiles como energía primaria.

Por último, se determinan cambios en la eficiencia energética, basándose en las modificaciones de la energía consumida en ambos escenarios.

INTRODUCCIÓN

El problema que se pretende solucionar al realizar esta investigación es el de determinar si con un cambio de hora en Guatemala es posible disminuir el consumo de potencia y energía, haciendo más eficiente el consumo de energía eléctrica, y por lo tanto disminuir el consumo de combustibles fósiles en el parque de generación. Como primer paso de la investigación se hizo una recopilación de informes y estudios realizados en distintas partes del mundo, en donde actualmente se realiza un cambio de hora u horario de verano; esto con el fin de encontrar similitudes con las características de Guatemala y de esta manera utilizar métodos similares para determinar la manera óptima de utilizar un horario de verano.

Es importante notar que realizar un cambio de hora y los efectos que esto ocasiona, son distintos para cada lugar, pero es posible encontrar algunas consideraciones o formas de trabajar la información que pueden ser utilizadas en el sistema eléctrico nacional.

Los primeros dos capítulos de esta investigación consisten en realizar una modelación de la demanda y generación en el Sistema Nacional Interconectado (Ministerio de Energía y Minas, 1996) utilizando como base los datos de potencia y energía eléctrica consumida en Guatemala, con el fin de comparar resultados, realizando un cambio de hora (horario de verano). El administrador del mercado mayorista quien es el ente privado, sin fines de lucro, que tiene a cargo la administración del mismo (Ministerio de Energía y Minas, 1996) cuenta con una estimación proyectada de la demanda a consumir en un período de tiempo determinado.

Esta proyección puede efectuarse con un margen de error menor si se hace con un mayor número de variables correlacionadas en el proceso; así también es posible obtener la probabilidad condicional e independencia (Maronna, 2008).

Se espera determinar de una manera cuantitativa y consistente el hecho de si es o no beneficioso para Guatemala realizar un cambio de hora, en términos ambientales y energéticos, tomando como base los datos de energía y potencia consumida en el sistema. Con las nuevas tecnologías es posible tener el registro de todos los puntos de medición en Guatemala, pudiendo ser estos consumidores o generadores de energía, lo cual permitirá conocer el comportamiento del sistema a detalle y obtener un modelo que contenga las características principales del mismo, de manera que será posible realizar un cambio en la variable de las horas de luz y comparar los resultados.

Este modelo a realizar debe encontrarse dentro de los límites permisibles de error y ser más preciso que el proporcionado por el administrador del mercado mayorista, ya que uno de los principales motivos por los que no se posee una respuesta precisa es debido a la variabilidad de la demanda eléctrica; pero tomando en cuenta que este estudio es de carácter descriptivo, se realizará con más tiempo y registros que lo informado en su oportunidad por el ente operador del sistema nacional.

En el tercer capítulo se desarrollan las diferencias observadas en la curva de carga del Sistema Nacional Interconectado al realizar un cambio de hora, y se relaciona con el mercado eléctrico actual para determinar el impacto que se tiene en el uso y generación de energía y la manera en que se modifica el comportamiento de la potencia del sistema, teniendo una información consistente para determinar cambios en la eficiencia energética, tomando como

base la siguiente definición: la eficiencia energética se refiere al hecho de “minimizar la cantidad de energía necesaria para satisfacer la demanda sin afectar su calidad” (Instituto Tecnológico de Canarias, S. A., 2008).

Lo anterior está íntimamente relacionado con el medio ambiente, ya que más del 30 % de la producción de energía eléctrica en Guatemala se obtiene a base de combustibles fósiles, que además de tener un costo más elevado, tiene efectos negativos en el medio ambiente, como la producción de gases de efecto invernadero y la utilización de los recursos de manera tal, que estos se vuelven recursos no renovables (Administrador del mercado mayorista, 2014)

En el cuarto capítulo se relacionan los resultados obtenidos utilizando el modelo obtenido en la parte anterior al tener un cambio de hora en el país y de esta manera determinar si es posible disminuir la demanda de energía eléctrica utilizando una menor cantidad de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, de manera que estos resultados pueden ser comparados con los presentados por el Ministerio de Energía y Minas.

1. ANTECEDENTES

El cambio de hora fue propuesto por primera vez por Benjamín Franklin, y posteriormente en 1907 por William Willett (Willett, 1914); aplicándose por primera vez en 1916 durante la Primera Guerra Mundial, como una medida para ahorrar carbón. Fue en 1966 que el Congreso de Estados Unidos estandarizó las fechas en las que se iniciaba y finalizaba el cambio de hora según la sección 260a denominada: “Avance de tiempo o fechas de cambio” *“Advancement of time or changeover dates”*, de la cual se extrae el siguiente fragmento:

Durante el período que comienza a las 2 en punto antemeridiano, el primer domingo de abril de cada año y termina a las 2 en punto antemeridiano el último domingo de octubre de cada año¹ (Congress of United States of America, 1966).

Esto indica que existe una relación estacional en la cantidad de horas de luz que recibe una cierta región, es decir que para cada región en el planeta es posible encontrar esta estacionalidad.

En 1968, mientras se dio una crisis energética en Chile, se tomó esta medida y en 1970 la medida planteada fue convertida en ley (Congreso de Chile, 1970); lo cual indica que no solamente para una región del planeta puede ser utilizada, sino que cada región puede adaptarla a sus necesidades.

¹ Traducción del original en inglés: *“During the period commencing at 2 o'clock antemeridian on the first sunday of april of each year and ending at 2 o'clock antemeridian on the last Sunday of october of each year”*.

A lo largo del tiempo en que se ha aplicado esta medida, se han publicado varios estudios relacionados con el tema, como los análisis realizados para ser presentados al Congreso de Estados Unidos, en donde incluso se detallan características de ciertas regiones, determinando que no existen áreas adecuadas para las cuales un cambio de hora es relevante, como lo indica el siguiente texto:

“En virtud de la Ley de Tiempo Uniforme, moviendo un área o desactivar el horario de verano se lleva a cabo mediante una acción legal a nivel estatal. Algunos estados requieren la legislación, mientras que otros requieren de la acción ejecutiva, como la orden ejecutiva del gobernador. La información sobre los procedimientos requeridos en un estado específico se puede obtener de la legislatura de ese Estado o la oficina del gobernador. Aunque puede eximirse, si un Estado decide observar el horario de verano, las fechas de observancia deben cumplir con la legislación federal” (Gurevitz, 2005 p. 125).

Algunos estudios analizan los beneficios de un cambio de hora en donde es posible relacionar el tema energético y ambiental como lo nombra Ryan Kellogg y Hendrik Wolff, en su estudio sobre evidencia de un experimento en Australia: “El aumento de los precios de la energía y las preocupaciones ambientales están impulsando a los países a considerar la ampliación de horario de verano (DST), a fin de conservar la energía” (Kellogg, 2007 p. 126).

Algunos estudios que correlacionan variables específicas como la incidencia que tiene el cambio de hora con accidentes en el trabajo, dejan claro que es posible relacionar otras variables que, aunque no son directamente afectadas, tienen relación con un cambio de hora realizado y esto no es distinto en Guatemala, como lo indica en el siguiente fragmento obtenido de una publicación de Christopher Barnes, en donde una parte de lo que concluye

afirma: “En resumen, hemos encontrado que los cambios de fase de tiempo que dispositivos desviadores, pero no se han tomado mayores acciones al respecto”.

En Guatemala, el horario de verano se utilizó por primera vez en noviembre de 1973; luego de mayo a septiembre de 1983, y en los años 1991 y 2006; pero solamente para los últimos cambios de hora realizados, en los que se cuenta con un mercado eléctrico nacional, se tienen registros de los consumos de potencia y energía; por lo que es para estos últimos casos para los que será posible estimar una relación entre variables.

Una de las causas del problema es la cantidad de personas que tienen el acceso a la información; quienes están capacitados para realizar el análisis no lo ven como una prioridad; además, es relevante el hecho de que cuando se han tomado las decisiones anteriores, no se ha realizado un estudio completo y oficial previo, sino que se han tomado decisiones desde puestos ejecutivos, sin tomar en cuenta los resultados operativos; como lo indican publicaciones realizadas en los distintos medios de comunicación, en donde incluso informan sobre una disminución de la demanda de 40 megavatios por día (Estrada, 2008); pero no se cuenta con ningún reporte oficial publicado.

Además, en Guatemala no ha sido posible relacionar las variaciones en la curva de carga del sistema nacional interconectado, proporcionada por el administrador del mercado mayorista, para determinar si las variaciones son normales o debidas al cambio de hora realizado.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala se ha realizado varias veces un cambio de hora o como es conocido mundialmente DST (*Daylight Saving Time*) (Williett, 1907) con el objetivo de ahorrar energía eléctrica mejorando la eficiencia, es decir utilizar de una manera más eficiente el uso de la luz solar, pero no ha sido posible comprobar el resultado obtenido de estos cambios de hora realizados, lo que conduce a la siguiente pregunta: ¿es o no conveniente para el país realizar un cambio de hora?; para esto se deben tomar en cuenta datos de potencia y energía consumida en el sistema eléctrico nacional y además, debe considerarse que un mayor uso de energía eléctrica lleva a una mayor utilización de combustibles fósiles para la generación de la misma.

Para determinar el impacto que tiene la modificación de un horario en la curva de carga del sistema es indispensable conocer exactamente las variables que inciden en el uso de la energía eléctrica en Guatemala y de qué forma estas pueden ser alteradas por factores externos.

Es necesario tomar en cuenta que hay muchas variables que intervienen en la proyección de la demanda para el sistema nacional interconectado, por lo que es importante responder a las siguientes interrogantes: ¿cuáles son las variables más significativas en la modelación del consumo de energía eléctrica en Guatemala? ¿Cómo puede realizarse una proyección más precisa con la que pueda estimarse la demanda de energía eléctrica en un período determinado? ¿De qué tipo son estas variables y de qué manera debe medirse cada una de ellas?

Se hará uso de las aplicaciones estadísticas necesarias para utilizar estas variables en un modelo matemático que describa de manera precisa las variaciones en la demanda nacional, pudiendo de esta manera determinar lo siguiente: ¿será posible que una modificación en el horario representa una modificación de la magnitud de energía eléctrica consumida en el país o son estas variaciones normales en la curva de potencia y energía consumida para un período determinado?

Para lo anterior deben utilizarse distintos métodos y seleccionarse un margen de error tal, que permita discriminar variaciones debidas a un factor externo (en este caso el cambio de hora) y cambios debidos a variaciones normales en el consumo de energía y potencia, con el objetivo de obtener una modelación que pueda ser utilizada para realizar variaciones en los datos de entrada y determinar cambios en la curva de carga del sistema eléctrico nacional.

Directamente relacionado con el tema del consumo de energía eléctrica de Guatemala se encuentran los tipos de generación necesarios para cubrir la demanda eléctrica nacional, lo que conduce a indagar en el tema ambiental, y a responder la siguiente pregunta: ¿qué relación tiene un cambio de hora con la energía primaria consumida?

Tomando en cuenta que en Guatemala para el 2013 más del 32 % de la energía generada fue a base de combustibles a base de petróleo (Administrador del Mercado Mayorista, 2014) y según indica la legislación vigente en su Título II, Capítulo I, Artículo 12: “La promoción de tecnología apropiada y aprovechamiento de fuentes limpias para obtención de energía” (Congreso de la República de Guatemala, 1986): se debe buscar siempre el mejoramiento de la eficiencia energética, es uno de los objetivos principales de

esta investigación analizar el posible impacto y la relación que tiene el cambio de hora en el tipo de combustible a utilizar para cubrir la demanda de energía eléctrica nacional.

Por lo anterior también deben detallarse cuáles son las diferencias entre el modelo propuesto y la curva de carga real y de esta manera determinarse cuáles son las fuentes que ocasionan cada una de las diferencias, pudiendo de esta manera responder a la pregunta: ¿existe o no una relación entre la magnitud de potencia y energía que es consumida en el país con el horario y cuál es el impacto en el consumo de energía eléctrica si fuese modificado?

3. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación responde a la siguiente línea de investigación:

- Energía aplicada
- Uso eficiente de la energía (principios de electricidad)
- Conservación de energía

El hecho de que en Guatemala se han realizado cambios de hora sin tener un patrón de repetición estandarizado, afirma que no hay una certeza en los resultados obtenidos y presentados a los medios; cabe mencionar que las premisas presentadas en las últimas ocasiones indican resultados de una disminución en el consumo de potencia y energía en el SIN, las cuales pueden ser válidas, pero no han sido técnicamente confirmadas y pueden estar lejanas a la realidad.

Tomando en cuenta que el análisis de los beneficios ambientales y energéticos que un cambio de hora supone, no se han tomado como una prioridad, y con el fin de hacer que el funcionamiento del SIN y la generación sea cada vez más eficiente, es importante determinar si es o no factible y beneficioso realizar cambios de hora en Guatemala, ayudando de esta manera a la toma de decisiones efectivas en el mercado eléctrico nacional con una base técnica.

4. OBJETIVOS

General

Determinar los efectos en la curva de carga del sistema eléctrico nacional y estimar los combustibles necesarios para la generación de energía eléctrica si se realiza un cambio de hora en Guatemala.

Específicos

1. Describir el sistema eléctrico nacional de Guatemala, sus características y datos estadísticos.
2. Describir y agrupar las variables utilizadas en la proyección de la curva de demanda en el Sistema Nacional Interconectado de Guatemala.
3. Proponer un modelo matemático para estimar la curva de demanda energética del Sistema Nacional Interconectado.
4. Cuantificar la variación de potencia y energía consumida en el sistema eléctrico nacional, al realizar un cambio de hora.
5. Determinar la cantidad y tipo de combustible que hubiese sido utilizado para cubrir la demanda de energía ahorrada al realizar un cambio de hora, e indicar si es o no beneficioso para el ambiente.

5. ALCANCES

Tomando en cuenta que se han realizado cambios de hora en el país, se considera esta investigación de carácter descriptivo y correlacional y cumpliendo con el objetivo de la investigación, se determina que el alcance será puramente técnico-energético, realizando un análisis de potencia y energía en el Sistema Nacional Interconectado de Guatemala, y las repercusiones que un cambio de hora pueda tener en el mercado mayorista, ya sean repercusiones ambientales o energéticas.

Esta investigación se realizará con el fin de explicar las diferencias en el comportamiento de la demanda de energía y potencia en el sistema eléctrico nacional al tener un horario de verano, y de relacionar estas diferencias con posibles modificaciones al combustible utilizado para generar la energía eléctrica, con el fin de que esta información pueda ser utilizada en análisis energéticos futuros y de esta manera mejorar y facilitar la toma de decisiones futuras en relación a este tema.

Debido a que se tomarán datos de años anteriores, se hará un análisis descriptivo, de manera que se utilizará la información recopilada para determinar cuáles fueron los efectos reales obtenidos, y de esta manera indicar si los cambios de hora en el país tienen impacto directo en el consumo de energía eléctrica.

Este estudio da una perspectiva más amplia de lo que un cambio de hora conlleva y permite tomar una decisión con fundamentos respecto del uso de un horario de verano en Guatemala.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Proyección de demanda energética en un mercado eléctrico

Con el fin de realizar una proyección precisa de la demanda en el Sistema Nacional Interconectado, es indispensable conocer las variables implicadas en el proceso de realización del modelo matemático y los métodos estadísticos necesarios para realizarlos, así como también es indispensable conocer el funcionamiento de los mercados eléctricos y sus implicaciones, ya que la administración y operación del mismo están íntimamente relacionadas con el tipo de energía primaria que se utiliza para cubrir la demanda de energía eléctrica.

Existen distintos métodos para realizar un pronóstico de la demanda energética en una región, incluso existen métodos para pronosticar la demanda con pocos minutos a futuro y algunos para pronosticar a muchos años a futuro, utilizados con diversos fines; “las metodologías de pronóstico de demanda comúnmente utilizadas se encuentran dentro de las siguientes categorías: proyecciones de series de tiempo y econométricas, análisis de uso final, enfoques de dinámica de sistemas, enfoques combinados y análisis de escenarios” (O’Ryan, 2008).

Para utilizar algunos de los modelos indicados será necesario considerar que la demanda de energía anual de cualquier sector debe ser convertida a potencia en una hora específica, teniendo en cuenta factores como la variación del consumo debido a la temporada, impacto del tipo de día (fin de semana o laboral) y consideración de hora del día; “cada uno de estos factores se

representa por un coeficiente que es el que modula la potencia eléctrica demandada, por lo que se les llama coeficientes de modulación de la carga” (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2007).

“Un modelo econométrico puede ser de mucha utilidad ya que se determina un modelo matemático que es capaz de relacionar la variable dependiente con sus variables explicativas y la perturbación que en este caso sería el realizar un cambio de hora” (Ministerio de Energía y Minas - Perú, 2006).

6.2. Estadística aplicada

Utilizando métodos estadísticos como la regresión y correlación lineal, ajustes rectilíneos y parabólicos, será posible determinar cuál es la mejor curva para la proyección de la demanda en el Sistema Nacional Interconectado. “Para el análisis de las variables será necesario el uso de medidas de dispersión, determinando un rango de las variables, su desviación media, varianza y coeficiente de variabilidad, con el fin de determinar las variables más relevantes para el proceso de interés” (Salazar, 2002 p. 125).

Es importante conocer las metodologías que se utilizan para la proyección de la demanda y la expansión de los sistemas energéticos, ya que el sistema tiene una expansión variable que sin duda afecta al funcionamiento del mismo y a la cantidad de energía y potencia que se distribuye en la red, notando que muchas veces se utilizan los mismos modelos estadísticos en casos similares.

6.3. Apuntes de estadística para ingenieros

La investigación necesita documentación que contenga valiosa información referente a teoría de la estadística descriptiva, medidas de tendencia central, métodos gráficos, al igual que métodos para detectar datos cuantitativos fuera de rango; también contiene información sobre las hipótesis paramétricas, tomando en cuenta el número de variables; además, puede ser utilizado para ampliar el tema de la regresión lineal simple, ya que contiene un capítulo entero en el que se observa la forma de manipular métodos como el de mínimos cuadrados y la diagnosis de un modelo (Castillo, 2012).

6.4. Correlación y regresión, simple y múltiple

Es de suma importancia para la investigación contar con bases claras de lo que es la regresión múltiple y análisis de los residuos debidos a una estimación; además es necesario conocer el manejo de la correlación múltiple y la correlación múltiple ajustada; también la valorización que puede darse al método de mínimos cuadrados, lo cual revela un panorama que es de utilidad para seleccionar las mejores variables explicativas.

Para determinar si es válida o no la hipótesis nula será necesario el uso de conceptos estadísticos como la distribución t de Student, la cual permite comparar, para esta investigación, dos proyecciones distintas, e indicar si hay o no una variación considerable en ambos casos. También se debe tener muy presente que se utilizarán métodos estadísticos varios, como las regresiones multivariantes y análisis de correlación entre variables (Vallejo, 2012).

6.5. Energía proveniente del sol

El planeta Tierra recibe una cantidad de energía anual de aproximadamente 1,6 millones de kWh proveniente del sol, de la que solamente el 40 % es aprovechable (Secretería de Energía, 2008).

Una de las maneras de aprovechar esta energía es como iluminación en cualquier actividad, por lo tanto, mientras más tiempo sea aprovechada la luz recibida del sol, más eficiente será cualquiera de los procesos en los que se utiliza.

Además de lo anterior, hay temas como la insolación solar, los cuales influyen en la cantidad de energía proveniente del sol, ya que el ciclo de actividad solar produce cambios en la luminosidad a lo largo del mismo, lo que produce una variación directamente proporcional a la insolación que recibe la Tierra, que también ocasiona un aumento de la temperatura (Martín, 2011).

Al analizar la energía proveniente del sol y principalmente al analizar los períodos en los que se cuenta con luz solar, debe entenderse que esto está relacionado directamente con la manera en que el planeta tiene su movimiento de traslación y rotación, tomando en cuenta que se encuentra inclinado 23,5 grados con respecto a la elíptica, además de tomar en cuenta efectos como los solsticios, equinoccios, y algunos tal vez no tan mencionados como el cenit que es un punto ubicado justo sobre el observador y el azimut solar que el ángulo medido en el sentido horario entre el punto cardenal sur (para el hemisferio norte) y la proyección sobre el plano horizontal local de la recta que une la Tierra con el sol (Maldonado, 2011).

6.6. Desarrollo sostenible

Una de las partes más importantes de la investigación es su relevancia respecto de los temas ambientales, por lo que determinar el impacto de un cambio de hora es uno de los objetivos primordiales; teniendo esto en cuenta es indispensable medir la modificación de los efectos producidos al realizar un cambio de hora; esto se logra a través del análisis de las diferencias del modelo calculado y la demanda real consumida en el sistema, pero con el fin de relacionar estas diferencias con las variables ambientales.

Es necesario relacionar estas diferencias con el tipo de energía primaria utilizada para el cubrimiento de esta demanda y con esto obtener qué cantidad de subproductos nocivos para el ambiente se generan o dejan de ser generados.

Si se parte de que alrededor de un 40 % de la energía primaria es utilizada para generar electricidad (Yndurian, 2005) se vuelve una prioridad velar porque esta energía primaria sea utilizada de manera sostenible; por lo que esta investigación busca encontrar suficiente información para determinar si un cambio de hora es o no un avance para mejorar la eficiencia del sistema.

6.7. *California Energy Commission, 2001. Effects of daylight saving time on California Electricity use. By A. Kandel and D. Metz. Publication 400-01-013*

Esta investigación fue realizada con registros de demanda energética durante un año, proporcionados por la Federal Energy Regulatory Commission y el Californian Independent System Operator; en ella se utilizaron datos

horarios para obtener un modelo teórico con el que fue posible proyectar los cambios en energía y potencia generada al tener un horario de verano, que es el hecho de tener un corrimiento de una hora de los relojes en invierno, conocido como DST² y el corrimiento de una hora de los relojes en verano, conocido como el DDST³ entre el período comprendido de abril a octubre.

El trabajo concluye lo siguiente:

- El efecto producido por un cambio de hora no es constante durante el período en el que se realiza, ya que se ven cambios relacionados con los cambios de estaciones durante este período.
- Indica que en Indiana el efecto del DST es insignificante o nulo respecto del ahorro energético, y que en ubicaciones al sur el efecto es incluso menor.
- Afirma que en verano los días son más cortos, por lo que el decrecimiento del uso de energía eléctrica para luz artificial es bajo, pero compensado con el uso del aire acondicionado.

En resumen, “el cambio horario tiene efectos positivos desde el punto de vista de consumo de energía, pero poco significativos” (Metz, 2001 p. 125)

² Daylight Saving Time

³ Double Daylight Saving Time

6.8. National Bureau of Economic Research, Cambridge, 2008: Does daylight saving time save energy? Evidence from natural experiment in Indiana

El experimento en Indiana puede considerarse importante para esta investigación, principalmente por dos razones:

- Es el primer estudio que hace uso de la información de mediciones en el área residencial (distribución), sobre un total de 229,818 usuarios.
- Fueron analizados simultáneamente 77 distritos que no utilizan el cambio de hora, pero que a partir del 2006 inician la práctica y 10 distritos que practicaron el cambio de hora y continúan practicándolo. Es decir, registran en un mismo año y lugar, residencias con cambio de horario y residencias sin cambio de horario.

La tabla siguiente muestra los resultados obtenidos.

Tabla I. Efectos del DST detectados en el experimento de Indiana

Caso de Indiana en Estados Unidos	Efecto global del DST [%]	Diferencia entre consumo (DST – no DST) [kWh/día]		
		Iluminación	Refrigeración	Calefacción
Abril	0,73	-4,1	6,8	2,2
Mayo	1,69	-6,0	10,5	4,4
Junio	0,03	-7,5	6,8	0,4
Julio	-0,05	-7,5	6,7	0,0
Agosto	0,60	-5,7	9,7	0,0
Septiembre	2,31	-1,9	11,7	2,6
Octubre	2,39	2,4	10,4	1,8
Promedio	0,98	-4,5	9,1	1,7

Fuente: Universidad de Chile. *Efecto en el consume de energía eléctrica del cambio de horario en Chile.* p. 12

Cabe mencionar que la diferencia en los consumos está expresada en magnitudes físicas (kWh/día), mientras que el efecto global está expresado como ahorro en el costo total de electricidad, lo que incluye los consumos totales de cada hogar.

De la tabla anterior además se observa que:

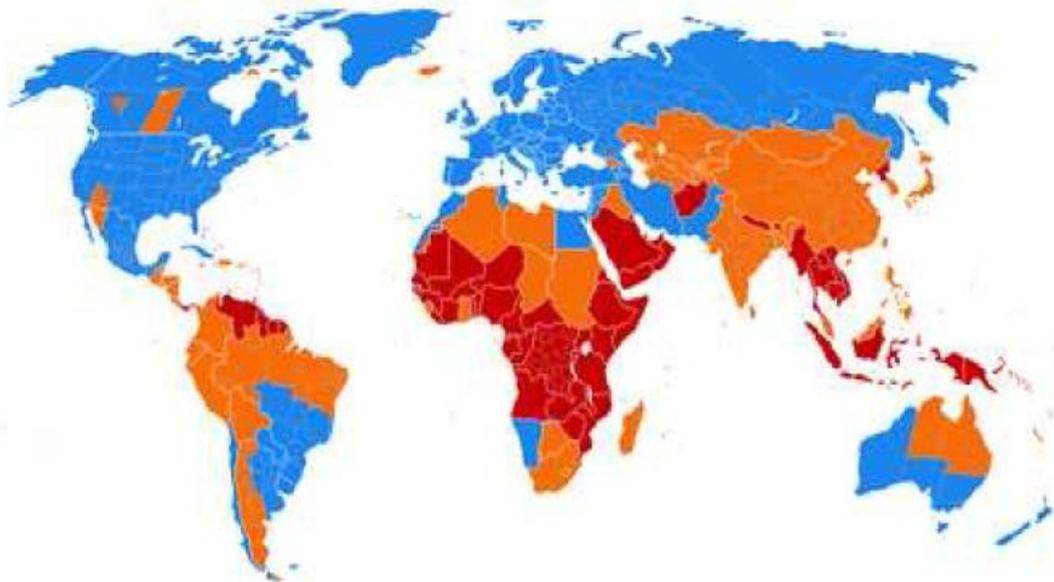
- El efecto del cambio de hora en Indiana implica un aumento del consumo de energía.
- La aplicación del DST implica un ahorro de la energía eléctrica empleada en iluminación, la que alcanza un promedio de 4,5 %.
- El incremento de consumo en Indiana se debe fundamentalmente a que, por efecto del cambio de hora, los sistemas de aire acondicionado incrementaron el consumo de electricidad (9,1 %).

Esta investigación muestra que es posible que un cambio de hora no siempre sea beneficioso y que se encuentra relacionado directamente con las características de cada tipo de demanda.

De igual manera, la implementación o no de un cambio de hora debe de analizarse de acuerdo con la naturaleza de los consumos de cada país. De este modo, no es posible suponer que los resultados de un cambio de hora obtenidos con base en consumos residenciales de otro país sean similares en los hogares de guatemaltecos, ya que la energía eléctrica se utiliza de distinta manera, por lo que el impacto puede ser muy distinto. De igual forma, los horarios de las actividades laborales y recreativas de cada sociedad son muy diferentes.

Cabe destacar, que existen muchos países que han utilizado el cambio de hora, resultando un fracaso en su realidad y han sido eliminados. Otros jamás han implementado el cambio horario. La figura siguiente muestra los países o regiones que actualmente implementan el cambio de horario (color azul), los que jamás han utilizado cambio de hora (rojo), y los países que lo han implementado pero lo han eliminado (naranja).

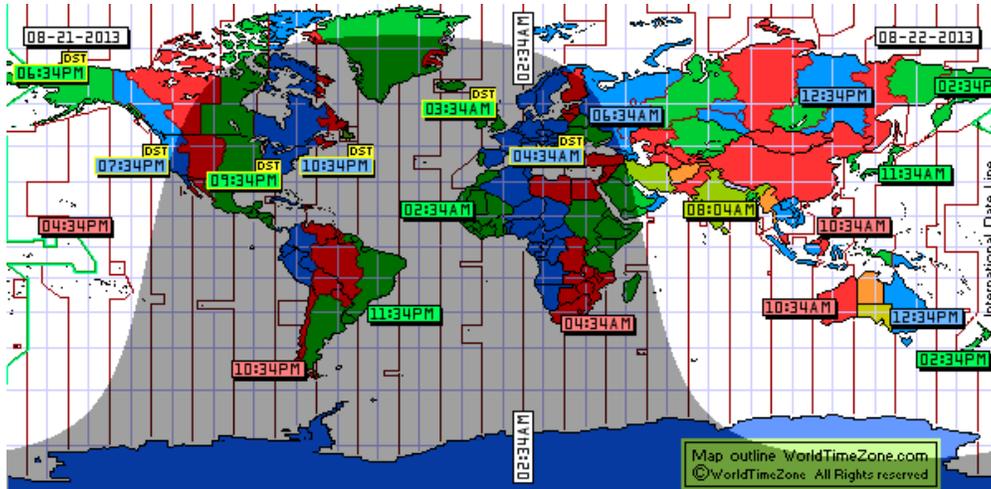
Figura 1. **Observancia del cambio horario en el mundo**



Fuente: Universidad de Chile, Efecto en el consume de energía eléctrica del cambio de horario en Chile, 2009. p. 14.

A continuación se muestra un mapa en donde pueden observarse las maneras variables como la hora en la que sale el sol y que desaparece; son estos factores importantes al momento de realizar un cambio de hora, ya que básicamente se busca aprovechar las horas de la luz del sol.

Figura 2. Hora en que sale el sol en diferentes países



Fuente: Google. <http://www.worldtimezone.com/time/suntime.php>.

Consulta: enero de 2015.

Tabla II. Salida y puesta del sol en Chile y EE.UU

		Chile Santiago	Estados Unidos Washington D.C.
Solsticio de verano	Salida	6.32	5.42
	Puesta	20.51	20.36
Solsticio de invierno	Salida	7.46	7.22
	Puesta	17.44	16.48

Fuente: Google. <http://sunrisesunset.com>. Consulta: enero de 2015.

Con base en los datos mostrados en la tabla, se puede ver que en Estados Unidos se opta por tener iluminación natural durante la madrugada, adelantando la puesta de este. Esta situación es clara en invierno, donde la puesta del sol es a las 16.48 horas, mientras que la salida del sol es a las 7.22. En Chile, por ejemplo, la salida del sol es aproximadamente media hora después, lo cual permite tener luz natural por más tiempo, permitiendo que la puesta sea a las 17:44 horas.

De igual forma, en verano puede notarse que en Estados Unidos se intenta tener una salida del sol más temprana (con una consecuente puesta también más temprana). Esto debido a que el principal consumo residencial en dicho país para esa fecha es el de aire acondicionado, por lo que una puesta del sol más temprano significa una temperatura más baja cuando los usuarios llegan a sus hogares, lo cual disminuye los consumos energéticos residenciales por este concepto.

Los antecedentes anteriores muestran que si bien los estudios internacionales son válidos y es importante revisarlos, los resultados obtenidos en ellos no deben ser tomados como una verdad absoluta y se debe analizar en forma local el posible impacto de las modificaciones necesarias para el cambio de hora.

6.9. *The smart grid: an introduction*

Con el fin de determinar cómo puede hacerse más eficiente el uso de energía eléctrica, de manera que es conveniente adentrarse en el tema de las redes inteligentes, ya que este concepto explica de una manera simple la manera en que se relaciona el uso de la energía con la dependencia a las distintas fuentes de producción.

Además, el tema es de suma importancia debido a que cada vez el país depende más de energías no renovables y el consumo de la leña continúa siendo un factor importante, teniendo en cuenta que del total de la energía consumida en el país, las fuentes energéticas que mayor consumo reportaron en el consumo final de energía fue la leña con un 57,4 %, los derivados de petróleo con el 33,8 % y la electricidad con el 8,8 % (Ministerio de Energía y Minas, 2011), el cual es uno de los mayores motivos para mejorar la manera de

utilizar la energía eléctrica y que esta pueda ser utilizada por más personas, para que, de esa manera, se disminuya el uso de la leña.

6.10. La hora oficial en España y sus cambios

En este documento es posible observar la importancia que tiene la luz del sol en la determinación del horario para cada región y que a la misma vez es necesario establecer una hora de referencia, como bien lo indica en el documento. A lo largo del siglo XIX fue haciéndose cada vez más patente la necesidad de coordinar a nivel internacional el establecimiento de las horas nacionales, referidas a una hora universal de referencia (Planesas, 2013).

6.11. La “hora del planeta”: medio ambiente, capitalismo y globalización

En el informe se relacionan los temas referentes a una hora general para el planeta y la influencia que tiene esto en el medio ambiente, además de ahondar en otros temas como el capitalismo y la globalización.

La información en este documento es importante debido a que da a conocer todo lo referente a la contaminación lumínica, como lo menciona en el siguiente extracto: “Similares apagones en defensa del medio ambiente, con la intención de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, reducir la contaminación lumínica, modificar patrones de consumo y estilos de vida, habían tenido lugar en diferentes partes del mundo, al menos desde 2001” (Leiva, 2010 p. 126).

6.12. La generación eléctrica a partir de combustibles fósiles

En el informe llamado “Divulgación” se detallan características de los combustibles fósiles, su uso en la generación de energía eléctrica, la disponibilidad de los distintos recursos, y las distintas tecnologías de generación y complementarias, tomando en cuenta los distintos ciclos termodinámicos en donde se utilizan.

En el documento también se encuentra una comparación entre las tecnologías de generación termoeléctrica con distintos tipos de combustibles fósiles; también se señalan tecnologías para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El documento fue realizado por un ingeniero electricista, maestro y doctor en ingeniería mecánica, basado en datos de México y de la Agencia Internacional de Energía. En una parte del documento el autor indica lo siguiente: “A futuro se empieza a incrementar el uso del carbón y la energía eólica, pero se mantiene la interrogante del uso de la energía nuclear, que en opinión del autor, depende en gran medida de las decisiones que se tomen en los Estados Unidos” (Gonzalez Santaló, 2009 p. 127).

6.13. Manual de iluminación eficiente

En la bibliografía de esta investigación se encuentran referencias al tema de la iluminación, y su importancia en el consumo energético en cualquier lugar del planeta, “prácticamente todas las actividades que desarrolla el ser humano requieren de la utilización de los recursos energéticos en mayor o menor grado” (*Efficient Lighting Initiative*, 2006 p. 127).

Esto lleva a notar que al realizar un cambio de hora en cualquier parte del mundo, se tendrá una modificación en el uso de energía eléctrica para iluminación, que en algunos países es una de las variables con más influencia en el comportamiento de la demanda de energía eléctrica. Tomando en cuenta el tema de la eficiencia energética, debe ser de interés el relacionar un cambio de hora con hacer más eficiente el uso de luz solar como fuente de iluminación.

6.14. Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio

En esta investigación es de vital importancia concentrar los resultados en el área nacional, sabiendo que los mismos son dependientes de variables características de cada lugar y tomando en cuenta los datos importantes de Guatemala, como las leyes y normas que regulan el sector eléctrico y la falta de una legislación que impulse la eficiencia energética, explícitamente, “no se ha encontrado en Guatemala ningún documento que refleje resultados de las iniciativas que a lo largo del tiempo ha impulsado el gobierno guatemalteco” (Carpio, 2013 p. 128).

Un recurso natural no renovable es “aquel que es explotado por el hombre, que no tiene la capacidad de perpetuarse, sino que tiende a agotarse a medida que se consume” (Restrepo, 2007 p. 127); concepto que es relevante en esta investigación, ya que en la parte final de la misma será necesario realizar la presentación de resultados, en la cual se pretende comparar la producción de energía eléctrica con fuentes de energía renovable y no renovable. También es importante tener en cuenta que existen fuentes de energía primaria con más relevancia (Castells, 2005) y que deben ser correlacionadas con las demás variables para determinar su impacto al realizar un cambio de hora.

6.15. Curso de inferencia estadística y del modelo lineal simple

Uno de los problemas más importantes a resolver en esta investigación es el de modelar una curva de demanda energética, por lo que los métodos estadísticos utilizados en la metodología se basan en análisis estadísticos, en los que se hará posible determinar las variables relevantes en la modelación de la curva de carga del sistema con ayuda de las herramientas disponibles para esto, utilizando fundamentos teóricos como la estimación puntual de parámetros (Pleguezuelo, 2007).

7. HIPÓTESIS

Hipótesis nula:

No hay relación entre el consumo de potencia y energía en el Sistema Nacional Interconectado y un cambio de hora en Guatemala.

Hipótesis alternativa:

Se tiene una disminución en el consumo de potencia y energía en el Sistema Nacional Interconectado al realizar un cambio de hora, el cual produce una disminución en el consumo de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y MERCADO ELÉCTRICO NACIONAL DE GUATEMALA

- 1.1. Leyes y normativas
- 1.2. Sistema eléctrico nacional
- 1.3. Mercado eléctrico nacional
- 1.4. Datos estadísticos
 - 1.4.1. Producción
 - 1.4.2. Consumo

2. VARIABLES QUE AFECTAN EL PRONÓSTICO DE LA CANTIDAD DE ENERGÍA A SER CONSUMIDA EN GUATEMALA

- 2.1. Definición de variables
- 2.2. Caracterización de variables
- 2.3. Criterios para determinar relevancia
- 2.4. Análisis de diferencias con variables utilizadas actualmente en

el administrador del mercado mayorista

3. MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR LA POTENCIA Y ENERGÍA CONSUMIDA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL
 - 3.1. Criterios y variables a utilizar en el modelo matemático
 - 3.2. Metodología y análisis de datos
 - 3.3. Consideraciones y fuentes de error
 - 3.4. Modelación de la curva de demanda energética

4. IMPACTO ENERGÉTICO Y AMBIENTAL DE REALIZAR UN CAMBIO DE HORA EN GUATEMALA
 - 4.1. Consumo de energía utilizando un cambio de hora
 - 4.2. Impacto en el mercado eléctrico al utilizar un cambio de hora
 - 4.3. Diferencias con el método usual
 - 4.3.1. Cualitativas
 - 4.3.2. Cuantitativas

5. DESARROLLO ENERGÉTICO SOSTENIBLE
 - 5.1. Relación de diferencias obtenidas con tipos de combustibles Utilizados para cubrimiento de demanda energética
 - 5.2. Nivel de relevancia y adaptabilidad en base a la matriz energética y de mercado eléctrico nacional actual

6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENTACIONES

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

9. METODOLOGÍA

La investigación es de tipo descriptivo y según su diseño puede dividirse en varias fases: la primera consiste en determinar variables comunes e importantes (de acuerdo con su correlación con el comportamiento de la demanda de energía) respecto del Sistema Nacional Interconectado en el país, con base en la recopilación y análisis de informes, reportes y estudios realizados, en donde se ha aplicado el cambio de hora, para ver su efectividad en la disminución del consumo de energía. Estas variables serán obtenidas del sistema de medición comercial (SMEC) utilizado en el administrador del mercado mayorista para la liquidación de potencia y energía, por datos precisos que pueden ser cuantificados.

Las variables a tomar en cuenta en el proceso son las siguientes:

- Horas de luz solar en Guatemala y su variación en el año, variable cuantitativa.
- Cantidad de potencia vendida en el mercado mayorista y su variación con el tiempo, variable cuantitativa medida en watts.
- Cantidad de energía generada para el cubrimiento de la demanda de electricidad, variable cuantitativa medida en watts por hora.
- Precio de la energía y su variación en el año, variable cuantitativa medida en dólares estadounidenses por watt.

- Tipos de tecnologías utilizadas para la generación de energía eléctrica, variable de categoría medida según las tecnologías en los reportes del administrador del mercado mayorista.
- Indisponibilidades de generación, variables cuantitativas medidas por tiempo y frecuencia.
- Degradaciones de centrales generadoras, variables cuantitativas medidas en watts y frecuencia.

Después de realizar el estudio de manera detallada de las variables antes mencionadas, se inicia la segunda fase del estudio, que se basa en el uso de métodos de correlación y modelos estadísticos como el método de *t Student*, para obtener modelos multivariantes, con un nivel de confianza suficiente, para que pueda ser utilizado al desarrollar una estimación acertada de la curva de carga del sistema, reduciendo de esta manera la incerteza de la proyección con la demanda real.

En la tercera fase de la investigación se describirán las diferencias entre la energía y potencia consumida en el sistema eléctrico nacional, al realizar un cambio de hora, y los posibles impactos en el despacho económico realizado por el administrador del mercado mayorista, que no es más que cubrir la demanda energética del Sistema Nacional Interconectado con las centrales más económicas (Ministerio de Energía y Minas, 1996).

Deberán tomarse en cuenta servicios complementarios como los de reserva de potencia, y temas de operación del sistema, y la asignación de la generación forzada (Ministerio de Energía y Minas, 1996), con el fin de determinar posibles mejoras en la matriz energética al realizar un cambio de

hora, de manera que si la luz solar es utilizada de una forma eficiente, conlleva a un menor uso de combustibles fósiles en la generación.

Teniendo todas estas consideraciones, se realizará un análisis de los resultados obtenidos respecto de la curva de carga sin un cambio de hora; de manera que las diferencias analizadas con este modelo se deberán al cambio de hora realizado, obteniendo de esta manera una fuente confiable para dar respuesta al tema principal de esta investigación y lograr en la última fase relacionar esto con los tipos de energía primaria que realmente se ahorran o no al realizar un cambio de hora en el país.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Las técnicas de análisis de la información serán realizadas con un enfoque primordialmente cuantitativo, tomando en cuenta que la información a manejar son datos de medición potencia y energía y se tendrán variables independientes como tiempo, frecuencia, número de indisponibilidades, potencia de degradaciones, promedios y precios; todos son datos que pueden medirse con facilidad.

El fin de la investigación será estimar una curva de carga por métodos estadísticos, como la regresión multivariable, y métodos de verificación como la *T Student* y los análisis de correlación, con el fin de que esta estimación permita determinar cuáles son las diferencias reales al realizar un cambio de hora en el país, de modo que se pueda cuantificar la potencia extra requerida y contabilizar cuánta de esta potencia fue entregada por centrales generadoras que utilizan combustible fósil como energía primaria.

11. CRONOGRAMA

En la siguiente tabla se detalla un cronograma propuesto para la elaboración de la investigación:

Figura 3. Cronograma

Nota: S = Semana		MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
		S-1	S-2	S-3	S-4												
F A S E 1	Análisis detallado de variables utilizadas en documentos de la bibliografía para realizar una estimación de demanda de energía eléctrica.																
	Análisis de métodos utilizados para la determinación de la curva de carga para el S.N.I.																
	Distinción de períodos importantes de demanda de electricidad y agrupación de la misma.																
F A S E 2	Descripción y organización de las diferencias entre la curva de carga proyectada actual y la real.																
	Análisis estadístico de las variables y demostración de un modelo matemático preciso para determinar la demanda en el Sistema Nacional Interconectado.																
	Determinación de posibles cambios y definición de diferencias.																
F A S E 3	Estimación de potencia y energía generada y consumida en el Sistema Nacional Interconectado al realizar un cambio de hora.																
	Cuantificación de porcentaje de potencia y energía generada con cada tipo de combustible y posible impacto debido a un cambio de hora.																
	Razonamiento de los resultados y análisis de posibles errores.																
F A S E 4	Descripción de los efectos de realizar un cambio de hora en el tipo de fuente primaria de combustible y sus implicaciones ambientales.																
	Determinación beneficios, consecuencias y consideraciones al realizar un cambio de hora en Guatemala.																

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La disponibilidad de los recursos para realizar este estudio es amplia, basándose en tres aspectos;

- Operativamente, se tienen los registros de las variables que es necesario evaluar en hojas de cálculo obtenidas del sistema del administrador del mercado mayorista. Para la realización de esta investigación debe de contarse con el personal calificado para el mismo; debe ser una persona con conocimientos amplios en ingeniería eléctrica y con una alta capacidad para trabajar con bases de datos extensas y lograr determinar la relación entre resultados, además de estar familiarizado con la tecnología necesaria para realizar estudios estadísticos de esta índole, teniendo un costo estimado de Q25 000,00, por realizar esta investigación.
- Técnicamente, además de poseer habilidades con las hojas de cálculo y software relacionados con el tema estadístico, se debe contar con el apoyo de un asesor que conozca sobre el tema de investigación, y al mercado energético de Guatemala a cabalidad, ya que es necesaria una vasta experiencia en el campo para realizar el estudio con los mejores criterios, de manera que los resultados sean significativos con un costo de Q2 500,00 por asesoramiento de 2 horas semanales; además debe contarse con equipo de cómputo en buen estado y procesadores de hojas de cálculo en los que pueda realizarse todo tipo de análisis estadístico e incluso software especializado para aplicar técnicas estadísticas que una hoja de cálculo no puede realizar.

- En el aspecto económico, debe tomarse en cuenta el tiempo requerido para el estudio, que puede llegar a ser aproximadamente de 16 semanas, según el cronograma propuesto en este reporte, ya que los honorarios de una persona capacitada pueden ser un inconveniente a tomar en cuenta; además debe reconocerse que el equipo utilizado al igual que los programas, deben ser de la mejor calidad para optimizar su desempeño. Para esta investigación la inversión será cubierta por el investigador.

El detalle de los recursos descritos se encuentra en la tabla siguiente:

Tabla III. **Recursos y materiales**

Descripción	Costo
Laptop con sistema operativo y software de procesamiento de datos instalado	Q 8 000,00
Software estadístico para realizar modelo matemático	Q 450,00
Libros de texto relacionados con la investigación	Q 1 200,00
Impresora con tinta a color para uso de la investigación	Q 1 800,00
Revistas e informes publicados referentes a la investigación	Q 900,00
Memoria USB para <i>backup</i> de datos	Q 250,00
Gastos extra (teléfono, internet)	Q 2 000,00
Costo de horas de trabajo del ingeniero investigador	Q 25 000,00
Costo de horas de trabajo de un asesor experimentado	Q 2 500,00
TOTAL	Q 42 100,00

Fuente: elaboración propia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Administrador del Mercado Mayorista. *Informe estadístico anual 2013*. Guatemala, 2013. 14 p.
2. _____. *Programación a largo plazo*. Guatemala: Administrador del Mercado Mayorista, Guatemala, 2013. 377 p.
3. _____. *Programación semanal de despacho de carga*. Guatemala, 2013. 12 p.
4. BARNES, Christopher, *Changing to Daylight Saving Time Cuts Into Sleep and Increases Workplace Injuries*. Michigan State University, 2009. 13 p.
5. BEAKERS, Benoit, *El diagrama solar*. España. 16 p.
6. CARPIO, Claudio *Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio*. Santiago de Chile: CEPAL, 2013. 14 p.
7. CASTILLO, Antonio, *Apuntes de estadística para ingenieros*. España, 2012. 235 p.
8. EDWARDS, Steve (s.f.). *Sunrise Sunset Calendars*. [en línea]. Recuperado de: <<http://sunrisesunset.com/>>. [Consulta: 30 de agosto de 2013].

9. ELÍAS, Xavier. *Tratamiento y valorización energética de residuos*. España: Ediciones Díaz de Santos. 21 p.
10. Efficient Lighting Initiative. *Manual de Iluminación eficiente*. Buenos Aires: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional, 2006. 565 p.
11. GONZÁLEZ, José Miguel. *La generación eléctrica a partir de combustibles fósiles*. México, 2009. 151 p.
12. GRANT, Laura. *Does daylight saving time save energy? Evidence from natural experiment in Indiana*. Cambridge, National Bureau of Economic Research, Indiana, 2008. 33 p.
13. Guatemala. Congreso de la República. *Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente*. Guatemala, 1986. 16 p.
14. GUREVITZ, Mark. *Daylight saving time*. Estados Unidos: Knowledge Services Group, 2005. 3 p.
15. HERRERÍAS, Rafael. *Curso de Inferencia Estadística y del Modelo Lineal Simple*. Madrid: Delta Publicaciones Universitarias, 2007. 212 p.
16. International Energy Agency. *World energy investment outlook*. Paris: International Energy Agency, 2014. 190 p.
17. Instituto Tecnológico de Canarias, S. A. *Energías renovables y eficiencia energética*. España, 2008. 148 p.

18. KELLOGG, Ryan, *Does Extending Daylight Saving Time Save Energy? Evidence From an Australian Experiment*. California: Recent Work, Center for the Study of Energy Markets, University of California Energy Institute, 2007. 41 p.
19. LEIVA, Alberto, *“La hora del planeta”: medio ambiente, capitalismo y globalización*. Madrid, España: Real Instituto Elcano, 2010. 49 p.
20. MALDONADO, Paul. *Representación gráfica de la posición solar y una superficie dada para la ciudad de Cochabamba - Bolivia*. Lima, 2011. 7 p.
21. MARONNA, Ricardo. *Probabilidad y estadística elementales para estudiantes de ciencias*. La Plata, Argentina: Facultad de Ciencias Exactas, 2008. 184 p.
22. MARTÍN, Benito. *Efecto del sol sobre la atmósfera terrestre*. 2011. 27 p.
23. METZ, Daryl. *Effects of daylight saving time on California Electricity use*. California Energy Commission, California, 2001. 37 p.
24. Ministerio de Energía y Minas. *Metodología para la proyección de la demanda y expansión de la generación y transmisión*. Perú, 2006. 34 p.
25. Ministerio de Energía y Minas. *Ley General de Electricidad*. Guatemala, 1996. 18 p.

26. _____. *Informe Balance Energético 2011*. Guatemala: Dirección General de Energía, 2011. 9 p.
27. MORALES, Pedro. *Correlación y regresión, simple y múltiple*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas, 2012. 24 p.
28. Organismo Internacional de Energía Atómica. *Modelo para el análisis de la demanda de energía (MAED-2)*. Viena, 2007. 209 p.
29. O'RYAN, Raúl. *Diseño de un modelo de proyección de demanda energética global nacional de largo plazo*. Chile, 2008. 282 p.
30. PLANESAS, Pere. *La hora oficial en España y sus cambios*. Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para el año 2013 (IGN), 2013. 16 p.
31. RESTREPO, Nestor. *Diccionario Ambiental*. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2007. 265 p.
32. SALAZAR, Norberto. *Estadística Aplicada*. En N. G. S. Colombia, 2002. 202 p.
33. Secretaría de Energía. *Energías renovables 2008 - Energía solar*. Argentina: Tecnología de la Información, 2008. 13 p.
34. USA. Congress of United States of America. *Public Law 89-387, 1966*. 3 p.

35. WILLETT, William. *The waste of daylight*. USA, 1914. 17 p.
36. World Time Zone. (s.f.). *World tie zone*. [en línea]. Recuperado de <<http://www.worldtimezone.com/time/suntime.php>>.[Consulta: agosto de 2013].
37. YNDURIAN, Félix. *Energía: presente y futuro de las diversas tecnologías*. Madrid: Academia Europea de Ciencias y Artes. España, 2005. 168 p.

