



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES
CONTRACTUALES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN LA CONTRATACIÓN DEL
SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO GRAN USUARIO**

Ramiro Gustavo Velásquez Navas

Asesorado por Msc. Lic. Manuel Fernando Moreira Galicia

Guatemala, marzo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES
CONTRACTUALES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN LA CONTRATACIÓN DEL
SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO GRAN USUARIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RAMIRO GUSTAVO VELÁSQUEZ NAVAS

ASESORADO POR MSC. LIC. MANUEL FERNANDO MOREIRA GALICIA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MARZO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Julio Roberto Urdiales Contreras
EXAMINADOR	Ing. Ángel Jesús García Martínez
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

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 INVESTIGACION PARA EL ANALISIS DE LAS CONDICIONES CONTRACTUALES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN LA CONTRATACIÓN DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO GRAN USUARIO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 10 de agosto de 2020.


Ramiro Gustavo Velasquez Navas

Ref. EEPFI-956-2020
Guatemala, 10 de agosto de 2020

Director
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES CONTRACTUALES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN LA CONTRATACIÓN DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO GRAN USUARIO**, presentado por el estudiante **Ramiro Gustavo Velásquez Navas** carné número **8612080**, quien optó por 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 Artes en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados.

Y 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 Décimo, 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.

Atentamente,

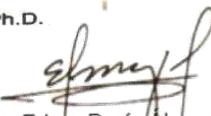

Mtro. Manuel Fernando Moreira Galicia
Asesor

Manuel F. Moreira Galicia, Ph.D.
Matemático
Colegiado No. 5990

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Área
Desarrollo Socio-Ambiental y Energético




Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EEP-EIME-014-2020

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 Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES CONTRACTUALES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN LA CONTRATACIÓN DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO GRAN USUARIO**, presentado por el estudiante universitario Ramiro Gustavo Velásquez Navas, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



Guatemala, agosto de 2020

DTG. 067.2021.

La Decana 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 Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES CONTRACTUALES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN LA CONTRATACIÓN DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO GRAN USUARIO**, presentado por el estudiante universitario: **Ramiro Gustavo Velásquez Navas**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, marzo de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por permitirme alcanzar mis metas.
Mis padres	Ernesto Velasquez y Manuela Natividad de Velasquez, quienes siguen siendo luz y ejemplo en mi vida.
Mi esposa e hijos	Wendy Yantuche de Velasquez, Juan Pablo y Wendy María Velásquez por ser motivación especial en este proceso.
Mis hermanos	Por su apoyo constante
Mi familia en general	Por estar siempre presentes.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por ser bastión de la educación y abrirme sus puertas.

Facultad de Ingeniería Por formarle profesionalmente.

Mi asesor Msc. Manuel Fernando Moreira, por su valioso apoyo como asesor del presente trabajo.

Mis compañeros de la Facultad de Ingeniería Por haber sido parte importante en la consecución de mis logros estudiantiles.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
2.1 Desmonopolización del sistema eléctrico de Guatemala	5
2.2 Antecedentes legales	6
2.3 Operación del gran usuario	6
2.4 Normas de coordinación comercial	7
2.5 Trabajos realizados a la fecha en nuestro país	7
2.6 Trabajos realizados en otros países.....	8
2.7 Análisis matemático.....	9
2.8 Referencias de economía.....	10
2.9 Informes técnicos económicos	10
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3.1 Contexto general	11
3.2 Descripción del problema	11
3.3 Preguntas de Investigación	13

3.3.1	Pregunta central	13
3.3.2	Preguntas auxiliares	14
3.4	Delimitación del problema	14
4.	JUSTIFICACIÓN	17
5.	OBJETIVOS.....	19
5.1	Objetivo general	19
5.2	Objetivos auxiliares	19
6.	NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	21
7.	MARCO TEÓRICO	25
7.1	Marco legal y regulaciones.....	25
7.1.1	Ley General de Electricidad	26
7.2	Opciones de compra de energía y potencia.....	28
7.2.1	Compra de energía en el mercado de oportunidad	29
7.2.2	Compra de energía con un comercializador.....	29
7.2.3	Compra de energía con un generador	30
7.3	Análisis de las condiciones contractuales	31
7.4	Curva de carga.....	31
7.4.1	Optimización de la curva de carga	32
7.4.2	Evaluar curva de carga	32
7.5	Análisis de las condiciones contractuales	32
7.6	Evaluación del mercado	33

7.6.1	Cadena de Markov	34
7.6.2	Parámetros estadísticos	34
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	37
9.	METODOLOGÍA.....	39
9.1	Recopilación de información.....	39
9.2	Evaluación de la curva de carga.....	40
9.3	Desglose de cláusulas del contrato	40
9.4	Variables.....	41
9.5	Fases del estudio	42
9.5.1	Fase 1: base teórica	42
9.5.2	Fase 2: establecer un procedimiento para contratar servicios.....	43
9.5.3	Fase 3: evaluación de condiciones contractuales	45
9.5.4	Fase 4: revisión del servicio contratado.....	53
9.5.5	Fase 5: contextualización del gran usuario.....	56
9.6	Alcances	58
9.7	Solución al problema de contratación.....	59
9.8	Procedimiento de evaluación.....	59
9.9	Resultados esperados	60
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	63
10.1	Características del estudio	63

10.2	Análisis matemático de transacciones del mercado de energía.....	65
10.2.1	Estadística descriptiva.....	66
10.2.2	Cadenas de Markov	67
11.	CRONOGRAMA	69
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	71
12.1	Presupuesto	72
13.	REFERENCIAS	73
14.	APÉNDICE.....	77
15.	ANEXOS	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Cronograma de actividades..... 69

TABLAS

- I. Variables y sus especificaciones 72
- II. Desglose de presupuesto..... 72

GLOSARIO

AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
Año estacional	Periodo comprendido entre el 1 de mayo y el 30 de abril del siguiente año.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Comercializador	Intermediario en la compra-venta de energía.
Contrato a término	Documento en el cual queda pactado condiciones de servicio de electricidad.
Comodity	Bien que es utilizado para generar otros bienes o servicios.
Demanda Firme	Demanda de potencia que debe ser contratada.
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.
Energía	Capacidad para realizar un trabajo.
Factor de pérdidas nodales de energía	Factor que refleja las perdidas marginales de transmisión.

Gran usuario	Usuario cuya demanda de potencia es igual o mayor 100KW.
Gran usuario con representación	El gran usuario que celebra un contrato de comercialización con un Comercializador.
Gran usuario participante	Responsable de las operaciones comerciales que realice en el Mercado Mayorista.
Generador	Poseedor de equipo de generación que vende parcial o totalmente la energía producida.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación.
Mercado Spot	Conjunto de compra-venta de electricidad de corto plazo.
Peaje	Pago que se devenga por transporte de energía y potencia por parte de terceros.
Potencia	Velocidad a la que se realiza un trabajo.
Potencia contratada	Potencia establecida en un contrato de suministro.

Potencia firme	Potencia asignada por el AMM al gran usuario, comprometida en contratos para cubrir la demanda firme.
Proceso estocástico	Utilizado para caracterizar un conjunto de variables aleatorias que dependen de otra variable.
Precio de oportunidad de la energía o precio spot	Valor del costo marginal de corto plazo de la energía en cada hora.
Servicios complementarios	Servicios requeridos para la calidad y con continuidad del servicio.
Usuario	Poseedor de propiedad donde recibe el servicio de energía eléctrica.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como principal objetivo elaborar un procedimiento para mejorar la contratación de energía y potencia para el gran usuario en Guatemala, proyectando un ahorro del 10 % al 20 % en el precio mensual del servicio. Este participante del mercado compra la energía y la potencia sin un análisis formal de las condiciones ofertadas para la renovación o contratación de este servicio, lo cual hace que su participación en las transacciones de energía sea muy pasiva y compre con la monotonía de costumbre.

El gran usuario, en nuestro país, es de características principalmente industrial, con procesos de manufactura de productos o servicios, su preocupación es mejorar la calidad de estos y su rentabilidad, por lo que observa a la energía como un insumo más, sin analizar cuánto le puede afectar las cláusulas del contrato respectivo o las condiciones existentes del mercado eléctrico del país.

Inicialmente se contextualiza al gran usuario en las transacciones eléctricas de nuestro país. Por otra parte, se hace un análisis del contrato vigente, las facturaciones del servicio y la curva de carga para evaluar si el contrato y sus cláusulas se ajustan al consumo y requerimiento de energía actual, con lo cual se alcanza el objeto de este trabajo de graduación.

1. INTRODUCCIÓN

En el año 1995, se inició en Guatemala la desintegración vertical del sistema eléctrico; en nuestro país permitió, entre otros aspectos, la libre generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica. Surge a partir de esta desintegración la figura del gran usuario, que es el consumidor de energía eléctrica que tiene como demanda mínima 100 KW o lo que defina el Ministerio de Energía y Minas. Esta característica le permite, de acuerdo con la ley, contratar el servicio en tres modalidades.

La primera es directamente en el mercado spot, en el cual el costo de la energía se establece horariamente por la máquina marginal, es necesario contratar la potencia con un generador o un comercializador. La segunda manera es por medio de un comercializador, con el cual es indispensable firmar un contrato a término en donde se establezcan las características del servicio, entre las cuales están el plazo, el volumen de compra y precio. Finalmente está la tercera opción en el cual el gran usuario puede comprar directamente con el generador, con esta compra es también necesario firmar un contrato similar a la segunda opción.

En nuestro país, la mayoría de grandes usuarios contratan el servicio eléctrico por medio de un comercializador, delegando en este su representación ante las transacciones de energía y potencia realizadas por el Administrador del Mercado Mayorista, esta característica cambia si se contrata con un generador.

En el caso de la firma de un contrato a término por el gran usuario, el mismo debería firmarlo con el pleno conocimiento de las cláusulas que en este documento se establece, sin embargo, existen varias normas comerciales y operativas que para tal efecto debe conocer y dominar, además es recomendable que pueda interpretar el comportamiento del mercado para que lo que se indique en el contrato no solamente coincida con el requerimiento de energía sino que, además, sea eficiente y justo con respecto a la parte económica. Aspectos que el gran usuario desconoce ya que su conocimiento está dirigido a la actividad comercial o industrial que realiza.

Este trabajo propone mejorar la eficiencia en la contratación del servicio de energía eléctrica por el gran usuario, por medio del análisis de las condiciones contractuales, con las cuales se contrata el servicio de energía. Las mismas deberán reflejar de manera justa, no solamente las condiciones económicas, sino que también las condiciones del entorno del Mercado Mayorista y sus proyecciones a corto y mediano plazo, que deberán reflejarse en el contrato. Haciendo, por otra parte, que el gran usuario participe de forma directa en las decisiones de las transacciones eléctricas en nuestro país.

Con respecto a lo anteriormente expuesto a continuación se presenta un resumen de los capítulos que se proyecta desarrollar, que tienen el objetivo de establecer un procedimiento para evaluar y analizar estas condiciones contractuales.

- Capítulo 1: se pone en contexto al gran usuario de las leyes y normativos existentes en nuestro país, que le permiten participar en las transacciones de energía y potencia, observando los procedimientos normados.
- Capítulo 2. Se analizan las diferentes formas de compra de energía y sus características y regulaciones. Se establecen los riesgos y ventajas de cada opción.
- Capítulo 3. Se analizan y establecen la procedencia de los costos complementarios y cómo inciden en la operación de las transacciones de energía y potencia, costos que aparecen cuando se opera en el Mercado Mayorista.
- Capítulo 4. Se analizan los diferentes tipos de contratos en nuestro medio, haciendo énfasis en sus ventajas y desventaja que puede encontrar el gran usuario en los mismos.
- Capítulo 5. En este capítulo se analiza el requerimiento actual de un gran usuario, por medio de su curva de carga, y se establecen parámetros que deberán quedar plasmados en el contrato.
- Capítulo 6. Se enfoca a la revisión de los principales parámetros del consumo y análisis contra lo contratado, que incluyen las facturaciones y reportes post despacho, a fin de comparar si lo que está en contrato es a fin a lo que se está consumiendo, realizando las recomendaciones necesarias, en caso contrario.

- Capítulo 7. Se utilizan métodos probabilísticos para revisión de las condiciones de mercado actual y futuro, utilizando la estadística descriptiva y el método matemático de las Cadenas de Markov para evaluar cómo podrían cambiar las condiciones contractuales si estas cambian a corto o mediano plazo.
- Capítulo 8. Todo lo anteriormente expuesto se utiliza para realizar un procedimiento indispensable, el cual se deberá tomar en cuenta previo a contratar o renovar un contrato de energía eléctrica.

2. ANTECEDENTES

2.1 Desmonopolización del sistema eléctrico de Guatemala

La desmonopolización del sistema eléctrico de nuestro país inicia con el proceso en el cual divide la estructura del sistema eléctrico en generación, distribución y comercialización, y las transacciones que hasta 1990 estaban concentrados en dos instituciones: El Instituto Nacional de Electrificación y en la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. (Calderón, 2018).

De acuerdo con la referencia anterior, entre los años de 1991 y 1995, se firmaron treinta y tres contratos privados, que se conocen en nuestro medio como contratos existentes, los cuales fueron onerosos para nuestro país pues estaban indexados a precios de los combustibles fósiles y al cambio del dólar, sin embargo fue la manera más rápida de paliar la creciente demanda de energía en esa época y evitar más racionamientos.

Estos contratos con proveedores privados dieron paso a la desmonopolización de la generación y, considerando la falta de generación por parte del Estado, fueron la base para la liberación del sector eléctrico en nuestro país; en 1995 se autorizó y publicó la Ley General de Electricidad, la cual se describe a continuación.

2.2 Antecedentes legales

La Ley General de Electricidad, emitida en 1996 (Decreto Ley 93-96) es una base fundamental para el desarrollo de este trabajo, por cuanto avala legalmente lo expuesto en el presente y se utiliza para garantizar al gran usuario que lo que en este documento se indica tiene bases jurídicas y que por tanto no es de características temporales o provienen de algún sector con intereses particulares, lo cual tiene por objeto, finalmente, hacer que el gran usuario tenga la confianza de tomar de referencia este documento para sus contrataciones de energía y potencia. Entre los principales fundamentos de esta Ley se encuentra la libre generación, transmisión y precios de prestación del servicio de electricidad (Decreto Ley 93-96, art.1). Lo cual es aplicable al gran usuario en lo que corresponde a la prestación de servicio.

2.3 Operación del gran usuario

En este trabajo es importante observar las regulaciones actuales de los entes que rigen las transacciones de energía y potencia para los grandes consumidores (Acuerdo Gubernativo 299-98, art. 4), que entre otros ítems especifican los tipos de contratos autorizados, servicios auxiliares o complementarios, especificaciones de operación de los grandes usuarios representados y auto representados, peajes, especificaciones que se debe incluir en el contrato, tiempos contractuales, quién es responsable de las pérdidas, cómo se pagará el servicio de transporte, entre otros.

2.4 Normas de coordinación comercial

Las normas de coordinación comercial son normas comerciales emitidas por el Administrador del Mercado de Mayorista que tienen por objeto indicar cuál es el procedimiento para operar en las transacciones de energía y potencia por los participantes del mercado eléctrico de nuestro país. Específicamente en esta sección es indispensable incluir la Norma de Coordinación No. 13 (Acuerdo Gubernativo 69-2007, art. 1), la cual se explica en este documento y que especifica los contratos homologados y sus definiciones a firmar por el gran usuario.

2.5 Trabajos realizados a la fecha en nuestro país

Existen dos trabajos realizados a la fecha en tesis de licenciatura, los cuales tienen temas similares a los desarrollados en esta tesis, sin embargo, como se verá en este resumen, las mismas tienen un enfoque totalmente diferente al planteado en este documento y para referencia se citan a continuación.

- Estudio de prefactibilidad para suministro de energía eléctrica en la ciudad universitaria a través del Mercado Mayorista.

El principal objetivo de esta tesis (Cortez) es la remodelación de los circuitos aéreos de media tensión de 13.2 KV, a cargo de la EEGSA, que suministra y distribuye energía eléctrica a esta universidad, a fin de que se pueda instalar una sola medición que registre el consumo total del campus central.

- Método para reducir gastos de energía y potencia eléctrica

Esta tesis (Almeda, 2005) tiene como objetivo principal el ahorro en los gastos de energía eléctrica en la Universidad de San Carlos de Guatemala. Según se explica en esta tesis, será por medio del mejoramiento de su factor de potencia, para evitar penalizaciones; finalmente, la tesis indica que la utilización de equipo de más eficiente y el mejoramiento del requerimiento de energía, que se puede observar por medio de la curva de carga, llevará también a un ahorro de energía por parte de la universidad.

2.6 Trabajos realizados en otros países

- Diseño e implementación de un sistema de medición inteligente para AMI de la microrred de la Universidad de Nariño Colombia.

En este trabajo, diseño e implementación de un sistema de medición inteligente para AMI de la micro red de la Universidad de Nariño Colombia (Arcinegas, Imbajoa y Revelo, 2017) se realiza un estudio para implementar un sistema de control del consumo en las principales subestaciones de esta universidad. Se hace énfasis en la optimización de la demanda de carga de los diferentes edificios, con el conocimiento que la optimización en la demanda total tendrá beneficios económicos en la facturación mensual y ayudará al sistema en general.

- Métodos para optimizar costos del servicio de energía eléctrica de grandes usuarios en Colombia, incorporando flexibilidad de la demanda.

En esta tesis colombiana (Cardona, 2011), se plantea algunos métodos para obtener la curva de carga, además realizan un análisis de estas y observan qué

equipos tienen mayor incidencia. Se mencionan algunos términos técnicos de la curva. El análisis de la curva se realiza con el fin de poder modificar el comportamiento de esta en el transcurso del tiempo, el fin de este análisis es hacer que la demanda máxima, en horario pico, sea menor a la que se obtiene de las instalaciones existentes.

- Management of Bilateral Contracts for Gencos Considering the risk in spot market applied.

Este documento, (Xiang, *et al.*, 2018), trata un tema muy importante, la implementación de los contratos de energía eléctrica, y tienen como objetivo, a la hora de elaborar el mismo, que evite que el comprador y el vendedor se vean en la necesidad de comprar en el mercado spot, exponiéndose a pagar precios altos, por la no previsión de la elaboración de contratos entre usuario y generadores.

2.7 Análisis matemático

“El análisis matemático se apoya fundamentalmente en las técnicas de Investigación de Operaciones, las cuales se basan, según Taha para predecir las condiciones a futuro” (Taha, 2004, p.675). Esta herramienta se utilizará para evaluar los posibles estados del mercado de transacciones a corto y mediano plazo y, de acuerdo con este autor, la información del estado se representa en matrices de transición y se trata como un proceso estocástico, es decir que usa estados que varían en función del tiempo en etapas finitas.

2.8 Referencias de economía

Es importante observar algunos conceptos de economía que ha tenido una participación importante en el cambio de políticas y de operaciones de los servicios públicos, según Robert Cooter (2016):

La economía proporcionó los fundamentos intelectuales del movimiento de desregulación de la década de 1980, que en los Estados Unidos produjo cambios tan radicales como la disolución de los organismos reguladores que fijaban precios y rutas para aviones, camiones y ferrocarriles. La economía fue también la fuerza intelectual que impulsó la revolución de las leyes antimonopólicas de los Estados Unidos en las décadas de 1970 y 1980 (p.15).

2.9 Informes técnicos económicos

Todos los meses se publican los Informes Técnicos y Económicos (Administrador Mercado Mayorista, 2020) que dan cuenta del movimiento económico del mercado de transacciones eléctricas en nuestro país, realizadas por los generadores, transportistas, distribuidores, comercializadores y grandes usuarios, en estos también se puede observar el comportamiento del mercado spot y los costos relacionados con el mismo, así como los requerimientos de energía y potencia del sistema eléctrico nacional.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 Contexto general

Con la desintegración vertical del sistema eléctrico en Guatemala, se presentaron varias opciones para la compra de energía eléctrica para los usuarios industriales y la libertad para elegir al proveedor de este servicio, el cual podría ser un comercializador, un generador o la compra directa en el mercado de oportunidad. Para su operación en estas transacciones, se ven obligados a firmar un contrato del suministro y servicio eléctrico, en el cual se especifican las condiciones con las que se presta este servicio, durante la vigencia de este. En estas condiciones no solamente deberá quedar especificado el precio de la potencia y energía, sino que también considerarse el entorno de las transacciones y sus factores de cambio, todos los requisitos de operación y comercialización para realizar estas transacciones están regulados y respaldados por ley.

3.2 Descripción del problema

En nuestro país es frecuente encontrar que los grandes usuarios no realizan un análisis formal de los requerimientos y condiciones contractuales, previo a la compra de energía y potencia en los servicios de energía eléctrica, contratados como gran usuario, debido a que, como se indicó anteriormente, la energía eléctrica la ven como un commodity y la especialidad del gran usuario normalmente

se enfoca a las áreas de producción o comercialización. Por lo tanto, no puede especificar o negociar las condiciones contractuales acorde a las características de su consumo con el comercializador o generador correspondiente, que implica montos facturados o servicios adicionales desfavorables para su operación.

Por otra parte, los contratos existentes tienen una cláusula de renovación, la cual únicamente se puede cambiar por aviso de una de las partes, siempre que se notifique con varios meses de anticipación, por lo que muchos de los contratos se están renovando sin ninguna revisión.

También, es recomendable realizar, posterior al consumo de la energía mensual, una revisión de si las condiciones contractuales se ajustan a las características del requerimiento de energía y potencia durante el tiempo contractual, lo cual debería de servir para hacer un análisis de si las mismas son adecuadas, en el periodo actual, o deberán modificarse a la brevedad. Esta actividad tampoco se realiza por parte del gran usuario, especificado en otras palabras, actualmente no se cuenta con una reingeniería de revisión del consumo y su respectivo contrato.

El problema de contratar el servicio de energía eléctrica, como actualmente se realiza, es decir, sin un análisis previo o posterior al requerimiento de la energía, es que el gran usuario paga un sobre costo por el servicio de la energía eléctrica de hasta el 15 % mensual, lo cual es lo común cuando se contrata un servicio o se renueva el mismo con los comercializadores, y tampoco cuenta con los beneficios de pactar atención personalizada y control de calidad de la energía que se contrata.

Otro aspecto que se debe observar y hacer énfasis es que actualmente la compra de la energía y potencia, en nuestro país, se puede realizar de diferentes maneras, tanto en los comercializadores de este servicio como en los generadores instalados, por tanto la posibilidad de mejorar las condiciones del servicio tanto económicas como en calidad de este es totalmente factible.

Esta indiferencia, en el análisis de las condiciones de compra y venta de energía, también repercute en las condiciones generales en el mercado de transacciones de este producto, ya que el gran usuario, con su poca participación en las transacciones de energía y potencia, permite que los comercializadores lo representen en el AMM, lo cual implica también delegar la toma de algunas decisiones a los mismos. No está demás hacer la observación que muchos de los comercializadores también tienen una relación filial con los distribuidores y generadores, por lo que algunas decisiones no son del todo parciales hacia el cliente, quien es, en última instancia, la parte que paga estos productos de potencia y energía.

3.3 Preguntas de Investigación

A continuación, se presentan la pregunta Central y las auxiliares que son la base para fijar los objetivos de este trabajo.

3.3.1 Pregunta central

¿Realiza el gran usuario un procedimiento formal para analizar las condiciones contractuales de los servicios eléctricos previas a su contratación?

3.3.2 Preguntas auxiliares

- ¿Qué características debe considerar el gran usuario para evaluar las condiciones contractuales?
- ¿Revisa el gran usuario si los servicios contratados y sus condiciones están de acuerdo con el requerimiento de energía actual?
- ¿Considera el gran usuario el entorno de las transacciones eléctricas y los factores de cambio para decidir sobre la contratación o renovación de un servicio eléctrico?

3.4 Delimitación del problema

El presente trabajo se realizará en una industria de alimentos, para realizar el análisis respectivo será necesario que la empresa permita el acceso a la siguiente documentación.

- Copia sencilla del contrato de servicio eléctrico firmado con el comercializador actual.
- Suministro de al menos 12 facturaciones mensuales del servicio eléctrico, con su desglose respectivo.

- Copia de las curvas de carga horaria del consumo, suministrado por el comercializador o permitir el uso de un equipo de medición para evaluar la forma de consumo de la energía en esta empresa.

Con los datos obtenidos, ordenados y realizando el análisis de las condiciones contractuales, este estudio tiene como alcance principal elaborar y presentar un procedimiento para evaluar los contratos actuales o las ofertas de servicios de energía para grandes usuarios, ya sea para renovar los mismos o para realizar contratos nuevos.

El presente también tiene el objetivo de incentivar al gran usuario a que participe de manera más activa en las transacciones de energía y potencia y sea un referente para que otros grandes usuarios realicen las transacciones de energía de manera más participativa y formal, incentivados por los beneficios que esto implica para esta institución y para el país.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se inserta en la línea del análisis de las características y operación en las transacciones de energía y potencia de los grandes usuarios, incluidos en la Maestría de Gestión de Mercados Eléctricos.

Más del 70 % de las transacciones eléctricas de nuestro país las realizan los grandes usuarios en el mercado de oportunidad, quienes deben firmar un Contrato a Término con las respectivas condiciones contractuales incluidas para operar en este mercado. La revisión de este contrato, por parte de este, es mínima y normalmente decide por precio de la energía y la potencia, sin revisar todas las condiciones que, en su momento, de acuerdo con varios factores, podrían aumentar considerablemente el costo del servicio.

Actualmente, menos del 1 % de más de 1,200 grandes usuarios se auto representan en el AMM, para operar directamente en esta institución, con los beneficios que esto podría traerles.

Entre las ventajas que se obtiene en el análisis de las condiciones de contratación están las siguientes:

- Ahorro en la compra de energía y potencia de alrededor del 15 %.
- Participación en las direcciones del mercado eléctrico de nuestro país.
- Posibilidad de comprar con la mejor opción económica y de tecnología.

- Permite optimizar su requerimiento de energía y potencia.
- Permite realizar una reingeniería a partir de los informes técnicos y económicos emitidos por AMM, para mejorar próximas contrataciones.

Este trabajo presenta la ventaja que dejará un protocolo de análisis de la demanda de carga y contratos existentes, que permitirá al gran usuario aplicarlo en sus próximas contrataciones.

Finalmente este trabajo también justifica su realización debido a que los grandes usuarios de nuestro país juegan un rol muy pasivo en la compra y venta de energía, debiendo ser todo lo contrario, ya que alrededor de ellos se estructura muchas de las estrategias de operación de las transacciones del mercado eléctrico de nuestro país, y a la fecha, la toma de decisiones que afectan al gran usuario están delegadas en distribuidores y comercializadores que no siempre están atendiendo los requerimientos y los beneficios de este.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Elaborar un procedimiento para evaluar las condiciones contractuales para la contratación de servicios eléctricos de forma eficiente como gran usuario.

5.2 Objetivos auxiliares

- Realizar un análisis de las condiciones contractuales para conocer sus implicaciones en un contrato de energía, cuando éste entre en vigencia, de un servicio nuevo o renovación de este.
- Evaluar condiciones de requerimiento de energía contractual, más comunes, en este servicio, para verificar que las mismas se ajusten a la demanda de energía actual.
- Realizar un análisis del entorno de las transacciones eléctricas en nuestro país, para evaluar el mismo y poder inferir a mediano o corto plazo su incidencia en la contratación del servicio eléctrico con un proveedor determinado.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Al observar que más del 70 % de las transacciones eléctricas de nuestro país se realizan por medio de los grandes usuarios en el mercado de oportunidad, su participación es menor al 1 % en la modalidad de auto representación, denota que no tiene el conocimiento adecuado de la forma de operar en el mismo.

Lo anteriormente expuesto es comprensible, pues la actividad de este consumidor está enfocada en la producción o servicio final que realiza, y en la cual es especialista, por lo que ve el servicio de energía eléctrica como un commodity, es decir, lo ve como un medio o un insumo para producir el producto final de su operación. Esto hace que desconozca la operación del conjunto de transacciones de energía y potencia, y por lo tanto no tiene el alcance para visualizar los beneficios que implica el conocimiento del medio y las condiciones de operación de este.

Este trabajo pondrá en conocimiento al gran usuario de la forma de participar en el mercado de transacciones eléctricas de nuestro país, haciendo énfasis en los beneficios de participar en este, por medio del análisis de las condiciones contractuales, que como ya se indicó, no solamente se trata de acordar los precios, sino que también definir las condiciones en las que se llevará el servicio, en las cuales deberá quedar implícitas las condiciones del entorno eléctrico y sus factores de cambio.

En este trabajo se elabora un procedimiento para tener en cuenta los aspectos principales de las condiciones básicas que se contraten con el servicio. Debido a

que el contrato es bilateral, y de carácter privado, el gran usuario tiene el derecho de solicitar también que se incluyan las condiciones de servicio y operación, previa firma del contrato, estas condiciones deberán ser respetadas y acordadas por el proveedor del servicio, quien es la otra parte que firmará el contrato.

Por lo anteriormente expuesto, el gran usuario mejorará en precios de adquisición del servicio de suministro de energía eléctrica, por parte de los proveedores, y también mejorará en las condiciones del servicio que implica calidad del producto y calidad de atención.

Para realizar este trabajo se tomará el siguiente orden y esquema de solución.

- Especificar el servicio eléctrico a analizar.
- Obtener contratos, informes post despachos y facturas respectivas.
- Obtener la curva de carga y sus respectivos parámetros.
- Analizar las condiciones contractuales del contrato y sus requerimientos de energía actuales y corto plazo, para verificar que éstas se ajusten a lo consumido en el punto a analizar.
- Evaluar las condiciones actuales y su proyección a corto y mediano plazo, por medio de métodos matemáticos y estadísticos.
- Analizar otras condiciones no citadas, en el contrato anterior, y verificar las implicaciones de cada una de ellas en la operación de este.

- Finalmente elaborar el procedimiento de análisis de las condiciones de potencia y energía a contratar para servicios de energía nuevos o por renovar.
- Presentar el mismo a personal técnico del gran usuario y resolver las dudas del análisis realizado.

Con este trabajo se cubrirá el área no considerada por los grandes usuarios, en primer lugar, en los análisis requeridos para toma de la decisión del mejor contrato del servicio de energía eléctrica y segundo, en el seguimiento de las condiciones del contrato, con respecto a si las mismas se ajustan al consumo durante el periodo contractual, base para renovación o contrato con un nuevo proveedor.

7. MARCO TEÓRICO

El marco teórico que a continuación se presenta inicia describiendo los acontecimientos que dieron pauta para que, en nuestro país, se desmonopolizara el sistema eléctrico nacional y sus servicios; posteriormente se describe los documentos que a la fecha regulan la compra y la operación del gran usuario en las transacciones eléctricas que incluye, entre otros, los tipos de contrato y describe los costos complementarios, todo con objeto de tener una base que describa el marco de referencia que existe en nuestro país para la operación actual del gran usuario.

Posteriormente se encuentra la parte técnica, que inicia con el análisis de la curva de carga y las consideraciones de las condiciones contractuales que inicialmente se proponen estudiar, para finalizar con un análisis del mercado actual y su proyección a futuro, para evaluar los posibles escenarios en el cual el mercado se podría encontrar y su incidencia en las condiciones contractuales.

7.1 Marco legal y regulaciones

Existe un marco legal que respalda las actividades de generación, transmisión, distribución y comercializaciones de las transacciones de potencia y energía.

7.1.1 Ley General de Electricidad

El gran usuario aparece como participante en las transacciones eléctricas de nuestro país, a partir de la publicación de la Ley General de Electricidad. Esta ley tiene como objetivos principales normar las actividades del sistema eléctrico y de los participantes y agentes que operan en el mismo.

La ley y sus alcances están basados en leyes realizadas en países como Chile y Argentina, en las cuales se especifica la desintegración vertical del sistema de estos países. En el artículo “Sector Eléctrico de Chile: Desafío para la innovación y desarrollo” (Palma, 2013, pp.97-111), indica que la desintegración vertical, que es uno de los principales objetos de esta ley, especifica los siguientes aspectos:

- Diversificar las fuentes de energía primaria
- Promover energías renovables de costos variables bajos
- Política activa de ahorro energéticos
- Marco regulatorio objetivo

En los considerandos de la Ley General de Electricidad especifica que “es urgente descentralizar y desmonopolizar los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica para agilizar el crecimiento de la oferta y satisfacer las necesidades sociales y productivas de los habitantes de la República” (Decreto Ley 93-96, p.3) plantea la desmonopolización y la participación de empresas privadas para satisfacer los requerimientos de la demanda de los años 1990-1995.

En nuestro país, tomando como ejemplo y referencia la desintegración vertical de los países anteriormente mencionados, los beneficios que esto implicaba y considerando, además, los desabastecimientos de la energía en las principales ciudades de nuestro país, según el Ministerio de Energía y Minas (Calderón, 2018) se agilizó entonces el análisis y posterior autorización para la desintegración vertical en Guatemala y se publicó la Ley General de Electricidad, en el año 1996 y su Reglamento (Acuerdo Gubernativo 256-97) en el cual se encuentran las principales regulaciones para las actividades de generación, transmisión, distribución y comercializaciones de las transacciones de potencia y energía. Esta misma Ley también da vida al operador del sistema, el Administrador del Mercado de Mayorista (AMM) y su reglamento (Acuerdo Gubernativo 299-98, 1998 art. 1).

En Chile, actualmente, los grandes usuarios se conocen como Clientes libres, para lo cual deberán tener una potencia conectada mayor a 5MW, pero un cliente puede optar a contratar el servicio, a partir de que tenga una potencia conectada mayor a 500KW, durante un periodo de 4 años (Comisión Nacional de Energía, 2003). Actualmente, en Guatemala, el gran usuario puede hacer su elección de servicio a partir de requerir una demanda de 100 KW o más. Lo cual implica que el gran usuario puede pactar sus condiciones del servicio eléctrico con cualquier suministrador de energía, pactando también sus precios.

El administrador del mercado mayorista es la institución que tiene, entre otras, la función de administrar las transacciones del sistema, garantizando el abastecimiento de la energía y la coordinación de los agentes para que operen en el mercado de transacciones (Acuerdo Gubernativo 299-98, 1998, art. 15).

Actualmente, existen 14 normas de coordinación comerciales (NCC) que tienen por objeto garantizar la coordinación de las transacciones comerciales del mercado mayorista (Administrador del Mercado Mayorista, 2007 art. 1). Entre las que más se utilizarán en el desarrollo de este tema (Administrador del Mercado Mayorista, 1998) son las siguientes:

- NCC-02 oferta y demanda firme.
- NCC-03 transacciones de desvíos de potencia.
- NCC-04 precios de oportunidad de energía.
- NCC-08 cargos por servicios complementarios.
- NCC-13 mercado a término.
- NCC-14 habilitación comercial para participar en el Mercado Mayorista y su sistema de medición comercial (Administrador del mercado mayorista, 1997).

7.2 Opciones de compra de energía y potencia

Se pueden adquirir energía de acuerdo con las siguientes opciones:

7.2.1 Compra de energía en el mercado de oportunidad

De acuerdo con las normas vigentes en nuestro país, el mercado de oportunidad es una opción de compra, la cual puede ser usada también para adquirir la energía. En este caso, se necesita un Contrato a Término únicamente para cubrir la demanda firme, ya que la energía la comprará en el mercado spot o de oportunidad (Acuerdo Gubernativo, 299-98 1998 art. 15).

En esta opción, el gran usuario queda totalmente expuesto a los costos marginales de este sistema, los cuales dependen entre otros de las variaciones del sistema que dependen de la estacionalidad del año, precios internacionales del combustible, conflictos políticos, entre otros (Sobre, 2003).

Por lo antes expuesto es recomendable (Xiang, *et al*, 2018) minimizar su participación o su dependencia con esta opción, ya que su precio puede ser, en un determinado momento, muy alto y además los costos no son fijos, varían por muchos factores, haciendo que para el gran usuario tenga un costo variable, que entre otras no pueda determinar su presupuesto o definir la incidencia del precio de la energía en su producto final.

7.2.2 Compra de energía con un comercializador

Actualmente, existen en nuestro país alrededor de 1200 grandes usuarios que compran la energía por medio de un comercializador, con el cual firman un contrato de los homologados por el AMM, según la NCC-13, anteriormente mencionada, en los que se especifican las condiciones con las que se adquiere

el servicio, entre las que están: los precios de energía y potencia, el tipo de contrato, plazo y otros.

Se debe considerar que varios de los generadores y distribuidoras han creado sus comercializadoras, esto es amparado por la Ley General de Electricidad (Decreto Ley 93-96. Art.7). Por lo tanto, considerando lo anteriormente expuesto, las decisiones de la dirección de las transacciones no siempre son de beneficio para el gran usuario.

Por esta razón, las condiciones contractuales deberán ser analizadas con mucha formalidad para que el contrato sea de beneficio para ambas partes y asegure la continuidad del suministro, y también “permite a los compradores y vendedores compartir o dispersar los riesgos que produce la volatilidad de los precios de la electricidad en el mercado spot” (Sobre, 2003, p.65).

7.2.3 Compra de energía con un generador

La compra de energía también se puede realizar directamente con un generador; en este caso se deberá pactar un contrato de potencia y energía, el cual, como ya se mencionó anteriormente, debe ser registrado en el AMM, similar a los contratos firmados con los distribuidores. El contrato registrado ante AMM asegura el suministro y especifica los precios, lo cual disminuye la incertidumbre que puede llegar a volverse un riesgo económico. Por otra parte, para los generadores “pueden encontrarse con caídas imprevistas de precio en el mercado que sea insuficiente para cubrir sus costes o con la imposibilidad de colocar su energía en el mercado al quedar fuera de la casación fina” (Sobre, 2003, p.70), por lo tanto, ambas partes obtendrán un beneficio.

7.3 Análisis de las condiciones contractuales

Además de las regulaciones existentes, hay varias consideraciones que deberá incluir el contrato de suministro del servicio eléctrico. El contrato como tal es un instrumento de tipo jurídico mercantil, tipo comercial, por lo que según el Código de Comercio, artículo 17, de nuestro país, indica que “Por el contrato de suministro, una parte se obliga mediante un precio, a realizar en favor de la otra, prestaciones periódicas o continuadas de cosas muebles o servicios” (Decreto ley 2-70, art. 707).

Es necesario conocer según Yusta (2010) “los nuevos modelos de organización de las actividades de generación, transporte, distribución y venta de electricidad, y las distintas tendencias internacionales, se convierte así en el paso previo imprescindible para comprender el contexto de la transformación del sector eléctrico” (p.2), es decir es importante conocer cuáles son los alcances de la operación de los agentes del mercado y qué factores externos pueden modificar las condiciones normales del mercado, estas últimas consideraciones deberán ser tomadas en cuenta en las condiciones contractuales.

7.4 Curva de carga

La curva de carga es importante porque describe los requerimientos de energía de un usuario en particular, en este inciso se encuentra los principales aspectos básicos que describen la utilidad de esta.

7.4.1 Optimización de la curva de carga

La curva de carga muestra las principales características del requerimiento de la energía por un usuario determinado, que según Cardona (2011) es “El conocimiento de cuándo y cómo se puede consumir energía de forma conveniente, es uno de los factores principales que influyen en la respuesta de los consumidores” (p.18) en un período de tiempo. En el caso de esta investigación, se solicita al gran usuario el suministro de esta, y de no contar con ella, se instalará un equipo de parámetros eléctricos para obtener una referencia del requerimiento horario de energía.

7.4.2 Evaluar curva de carga

El segundo documento es la *Gestión de la demanda de energía eléctrica en la empresa Cartopel de Cuenca* (Mendez, 2013). Este documento presenta algunos criterios para evaluar la curva de carga con el objeto de optimizarla, se requiere el uso eficiente de la energía por parte del gran usuario; también se presentan varias maneras en que el usuario puede reducir la misma; en otros países, hay varios incentivos económicos cuando se optimiza la curva de carga.

7.5 Análisis de las condiciones contractuales

En los contratos de energía hay varias condiciones que analizar y varios riesgos que se deben considerar, según se describen en el capítulo 2 y 4 respectivamente de la tesis (Beamonte, 2003) elaborada en las transacciones de energía que se realizan en España, en donde se encuentra un mercado diferente al nuestro, pero las consideraciones básicas de los tipos de contrato y

riesgos servirán como referencia y complemento de las condiciones de mercado que se encuentran en nuestro medio y los requerimientos mínimos solicitados por AMM para realizar un contrato, según la norma comercial NCC-13.

Es necesario tomar en cuenta que existen diferentes tipos de contrato y que existen diferentes riesgos (Harrys, 2013) , según el tipo de contrato (Salazar, 2007) que se deben considerar, según el proveedor, plazo, condiciones de contrato, precio, ubicación del generador, de acuerdo a los autores ya citados.

Es importante que, en estos contratos de carácter bilateral, el gran usuario también proponga algunas condiciones que garanticen la calidad del servicio y las cualidades de este, asistido por el derecho que le corresponde. Asimismo, deberán quedar plasmadas en este documento las características del servicio y las obligaciones del proveedor, algunas de estas características se revisan según Contrato de servicio público de Energía Eléctrica (Enel, 2019).

7.6 Evaluación del mercado

En este trabajo se evaluará el estado actual del mercado de transacciones, las cuales son publicadas mensualmente por el AMM. Esta información es de carácter público y por lo tanto los datos del estado actual están disponibles. Con esta información se utilizarán dos métodos para determinar el estado actual del mercado y las proyecciones de este, las Cadenas de Markov se utilizará para realizar una proyección de diferentes factores del mercado y los métodos estadísticos descriptivos para obtener referencias del mercado actual.

7.6.1 Cadena de Markov

Método probabilístico de las cadenas de Markov, se refiere a “un proceso estocástico para determinar el estado futuro de una variable, el cual dependerá únicamente del estado actual y es independiente de los estados pasados” (Vega, 2004, p.48). Los procesos de Markov se pueden utilizar para encontrar el comportamiento futuro a corto y a mediano plazo, una vez que se ha especificado el proceso. Este procedimiento se basa en evaluar las características de los estados e inferir el siguiente estado, con base en el último. Utiliza una matriz de transición para resolver el próximo estado (Modica, 2013).

7.6.2 Parámetros estadísticos

El otro método que se evalúa utilizar en este documento son los parámetros tradicionales estadísticos, que de acuerdo con Fernández permiten una evaluación más práctica para evaluar una serie de datos, de un sistema de transacciones de energía eléctrica (Fernández, 2002) entre los cuales están:

- Precios medio del spot
- Desviación típica del precio medio
- Coeficiente de variación
- Precio horario máximo
- Precio horario mínimo

- Coeficiente del intervalo de medición
- Media del precio ponderado

La información requerida para realizar este trabajo se obtiene de la información mensual que publica el AMM denominada *Informe transacciones económicas, ITE* (Administrador Mercado Mayorista, 2020), el cual presenta el comportamiento del mercado y la participación de los Agentes y grandes usuarios, informe que se presenta mensualmente, también se basa en los informes estadístico, de esta misma institución, que muestran el comportamiento y tendencia del mercado.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. Marco legal de operación para el gran usuario
- 1.2. Marco técnico autorizado de operación del gran usuario
- 1.3. Opciones de compra de energía y potencia del gran usuario

2. RECOLECCIÓN DE DATOS

- 2.1. Análisis de facturaciones de un gran usuario
- 2.2. Análisis de la curva de carga de un gran usuario
- 2.3. Análisis de la estructura del contrato de energía
- 2.4. Revisión de las cláusulas contractuales según el consumo y facturación del servicio
- 2.5. Revisión de las condiciones actuales del mercado
- 2.6. Análisis de las condiciones futuras del mercado
- 2.7. Propuestas de cláusulas a revisar previo de firma de contratos

2.8. Elaboración de procedimiento de análisis de contrato de servicio eléctrico previo renovación o contratación

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1 Recopilación de información

Inicialmente se solicitarán los siguientes documentos al gran usuario:

- Facturaciones del servicio. Se solicita que se entreguen, al menos, facturaciones de 12 meses.
- Contrato de servicio. Se solicita al gran usuario se entregue copia simple del contrato vigente del servicio de electricidad.
- Copia de las curvas de carga. Actualmente el gran usuario, que colabora con el presente, posee las curvas de carga que le entrega el comercializador del servicio.
- Se ordenará las facturaciones y se desglosarán todos los parámetros consignados en las mismas, representándolos en cuadros y algunos en gráficas para que se observe el comportamiento de una forma práctica.

9.2 Evaluación de la curva de carga

Tomando en cuenta que la curva de carga, esta parte del trabajo será cuantitativa, describe y cuantifica el requerimiento de la energía por parte del gran usuario, en ella quedan plasmados los diferentes requerimientos en los horarios correspondientes, los cuales deberán ser considerados para suscribir el tipo de contrato que mejor se adapte a su consumo, considerando los siguientes aspectos.

- Identificar la potencia máxima, la cual define la potencia de peajes primario y secundario a contratar.
- La demanda máxima en horario pico. Esta demanda es considerada por el AMM para asignarle al gran usuario su demanda firme a contratar, y es la base para contratar potencia y algunos costos diferenciales dependen de esta.
- El volumen de energía mensual. El cual se evaluará para proyecciones de costos y tipos de contrato a elegir

La forma característica de la curva de carga, la cual permite evaluar la forma del requerimiento de carga, horarios de picos máximos y mínimos.

9.3 Desglose de cláusulas del contrato

Con respecto al contrato, se listarán las principales partes de este y se desglosarán las condiciones contractuales, lo cual servirá de base para realizar

el análisis de estos, esta parte del estudio será cualitativa y cuantitativa. Este mismo desglose se revisará contra lo consignado en las facturaciones mensuales de este, antes realizado, confirmando su relación o no con las condiciones contractuales. Este procedimiento será realizado de una manera formal para que el gran usuario tenga un procedimiento para revisión de estas, con base en la relación factura y contrato y, también, con base en las normas correspondientes y el entorno de las condiciones de operación del mercado actual y los informes del mercado mensual.

9.4 Variables

La operacionalización de las variables será por el análisis de las condiciones contractuales de cada una de ellas, las cuales serán propuestas por un proveedor de servicios, tal como un comercializador o un generador, o las mismas ya existen en un contrato de servicio vigente. Estas condiciones que se analizan en relación con si es funcional dentro del contrato o de una oferta respectiva, juzgando si su inclusión es adecuada o deberá ser modificada o, incluso, sustituida por otra condición que se ajuste más a los requerimientos de la energía en un punto de servicio determinado. Las condiciones son tanto del tipo cuantitativa como cualitativa, según se observa en el cuadro siguiente.

Tabla I. **Variables y sus especificaciones**

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES CONTRACTUALES PARA MERJORAR LA EFICIENCIA EN LA CONTRATACIÓN DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO GRAN USUARIO									
UNIDAD DEL TRABAJO:		EFICIENCIA EN LA COMPRA DE ENERGÍA ELÉCTRICA							
VARIABLES	CRITERIOS							NIVEL DE MEDICIÓN	
	CATEGORÍA	NÚMERO		DE ACUERDO AL USO					
		Dicotómica	Policotómica	Discreta	Continua	Dependiente	Independiente		Manipulable
Precio				SI	SI			SI	DE INTERVALO
Consumo de Energía				SI	SI			SI	DE INTERVALO
Potencia Máxima				SI	SI			SI	DE INTERVALO
Servicios Complementarios				SI	SI			SI	DE INTERVALO
Peajes				SI	SI			SI	DE INTERVALO
Reservas de Sistema				SI	SI			SI	DE INTERVALO
Tipo de Contrato		SI					SI		NOMINAL
Condiciones Contractuales	SI				SI			SI	NOMINAL
Curva de Carga				SI	SI			SI	DE INTERVALO

Fuente: elaboración propia.

9.5 Fases del estudio

Se describen a continuación cinco fases de estudio.

9.5.1 Fase 1: base teórica

Esta fase tiene por objeto presentar una base teórica y técnica que servirá a cada uno de los capítulos, que permita contar con los argumentos necesarios para poder analizar las condiciones contractuales, las curvas de carga y las diferentes regulaciones nacionales para llegar a conclusiones claras y objetivas, que finalmente puedan alcanzar los diferentes objetivos planteados en este documento.

Para tal efecto se ha iniciado la búsqueda de los documentos relacionados con este tema, como marcos regulatorios, referencias de actividades de los grandes usuarios en otros países, observaciones de los riesgos en las contrataciones,

herramientas matemáticas y estadísticas que ayuden a analizar y definir las condiciones del servicio y el entorno de las mismas, entre otros. Para que estos documentos respalden y actualicen la forma de contratación de un servicio eléctrico.

En esta fase también se presentan las bases de ingeniería de parámetros eléctricos que se utilizarán, como los términos relacionados de potencia y energía, transmisión, distribución y comercialización.

Se describen aquí los principales contratos de energía y sus características y los usos más comunes y el uso típico de los mismos de acuerdo con su transacción.

Se incluye también la parte teórica básica de la Cadena de Markov y los términos estadísticos que se utilizarán en el desarrollo de este documento para inferir del comportamiento del medio y su posible estado en el futuro.

9.5.2 Fase 2: establecer un procedimiento para contratar servicios

El principal objetivo de este trabajo es elaborar un procedimiento para la evaluación de las condiciones contractuales, previamente analizadas en los capítulos anteriores. Este procedimiento está basado en el desarrollo de los 6 capítulos iniciales de la tesis; en el último capítulo se resumen todas las condiciones evaluadas y se presenta el procedimiento final.

Para realizar esta fase se toma la teoría y base legal, el análisis de los consumos revisados, los parámetros y la curva de carga, el análisis actual del

entorno de las transacciones de energía y potencia, los riesgos considerados y todo el análisis de las condiciones contractuales básicas que se presentan en el desarrollo de este trabajo. Este procedimiento especificará los siguientes aspectos:

Identificar los parámetros de la curva de carga. Se toman los principales parámetros de la curva carga, los cuales se revisarán para evaluar la demanda firme asignada por AMM y la máxima potencia encontrada en la medición realizada, el factor de carga, consumo de energía, entre otros.

Solicitar, cuando son servicios existentes, las facturaciones de al menos seis meses y evaluar los renglones principales consignados en estas.

Tener acceso a las condiciones contractuales del servicio respectivo y elaborar un listado y desglose de estas. Haciendo una revisión de cada una de ellas, con respecto a las facturaciones pasadas y a la curva de carga actual.

Realizar una proyección de carga, que se incrementará o decrementará, del servicio bajo análisis, a un año, lo cual es aplicable a servicios nuevos y servicios existentes.

Realizar un análisis de las condiciones de operación del mercado de transacciones y sus posibles estados a futuro, por medio del procedimiento de la Cadena de Markov.

Revisar las normas vigentes relacionadas con la contratación de los servicios y el entorno del medio de transacciones.

Verificar la demanda firme, asignada por la AMM, para el año estacional vigente.

Elaborar un formulario con las principales características de los servicios existentes o de los ofertados, según sea el caso, para cotejarlas con los requerimientos de energía del servicio a contratar o renovar y con las condiciones contractuales. El formulario comprende y especifica las principales características del servicio y se deja lo más general para que cubra varias posibilidades de contratación y de las diferentes condiciones que se podrían encontrar. Es importante que el proveedor del servicio o el interesado en proveer el servicio, cumpla con requisitos para poder ofertar, entre ellos que cuente con la oferta de demanda firme disponible, para poder cubrir con la demanda firme asignada al gran usuario, por lo que, previo evaluar una oferta, deberá cumplir las condiciones mínimas para realizarlo, condiciones descritas en la fase anterior. Este formulario debe ser actualizado con nuevas condiciones de operación comerciales, nuevas regulaciones, contexto en el tiempo de contratación o por nuevos requerimientos de carga, para que el mismo esté vigente en el momento de utilizarlo. Los renglones de este formulario son para presentar la evaluación realizada, la cual se hace en los capítulos anteriores, es decir, éste será un medio de presentación de la evaluación de las condiciones contractuales o de las especificaciones de oferta de un proveedor del suministro de energía eléctrica.

9.5.3 Fase 3: evaluación de condiciones contractuales

Para realizar este objetivo, se consideran, entre otros, las leyes y regulaciones vigentes de nuestro país, el entorno actual de las tecnologías de generación, el precio spot, las facturaciones emitidas del servicio respectivo, los reportes post

despacho, la curva de carga y las condiciones contractuales ya firmadas en un contrato de servicio existente. Además, tomando en consideración que las condiciones contractuales deben también reflejar el entorno en el cual se opera como gran usuario, se utiliza un método matemático denominado Cadena de Markov, el cual es un método estocástico por medio del cual se puede proyectar el comportamiento del mercado, lo cual es fundamental para poder tomar decisiones respecto al servicio a contratar.

Para realizar el contexto en el cual el gran usuario contrata un servicio, es necesario estar consciente de las condiciones de operación y transacción eléctricas del medio cuando se está evaluando la contratación. Este contexto se refiere a estar al tanto de las tecnologías de generación del momento, los costos del mercado spot, los costos de peajes, los costos diferenciales, los precios de potencia y energía de este momento y, además, este trabajo realiza una proyección de estos parámetros para tener claro cómo las condiciones contratadas pueden variar y afectar los contratos firmados.

Esta evaluación se propone realizarla en un período de 2 años, anteriores a la fecha de inicio de este trabajo, que permita evaluar la tendencia de los precios y principales características de este, en el cual pueda apoyarse para tomar decisión de las condiciones de precios a un mediano plazo para el cual se contratará la energía y potencia.

En esta etapa, el análisis de las condiciones contractuales se realiza con el objeto de constatar que las mismas se ajustan al requerimiento de energía, para que lo que se contrató sea lo que realmente necesita el gran usuario en el momento de la firma y en el transcurso de vigencia del contrato.

Deberá tomarse en cuenta que hay muchos factores que afectan los servicios y las condiciones de este, estos factores pueden ser provocados por el gran usuario, por el comercializador o el generador. Las regulaciones y normativos también pueden ser factores de cambio; la estación, el clima, nuevas tecnologías, fallas en las líneas de transmisión, en la operación, decisiones políticas, entre otros, pueden afectar directamente las condiciones propuestas que se revisan, por lo que un análisis de las condiciones ya establecidas o por establecer será necesario para garantizar un contrato óptimo.

En el renglón 2 del formulario, que se encuentra en la siguiente fase, se solicita que el proveedor entregue algunos requisitos, previo a presentar este formulario. Estos requisitos deberán ser solicitados por el gran usuario los cuales se analizarán, junto con esta institución; entre los cuales deberían estar los siguientes:

Curva de carga suministrada por el gran usuario al oferente, para que analice sus principales parámetros y que ajuste su oferta y tipo de contrato a ofertar.

Trámite para que el gran usuario cuente con acceso directo a los reportes post despachos emitidos por AMM.

Deberá considerar que el gran usuario no tendrá limitaciones en el volumen de energía a utilizar, la cual puede disminuir o aumentar según la curva de carga suministrada y no tendrá ninguna penalización por parte del proveedor, realizando las gestiones para que este cambio se pueda llevar a cabo.

Envío de costos complementarios actualizados que aparecerán en las facturaciones mensuales y sus regulaciones vigentes, para la proyección del total del servicio.

Envío de modificación oficiales de las regulaciones que afecten el servicio técnica y económicamente, especialmente los que afecten las condiciones contratadas y los costos complementarios.

Especificación de la ruta de transmisión de la energía, por medio de un unifilar, especificando los tramos y subestaciones que utilizará el proveedor para el suministro de la energía en el punto de suministro.

Entrega de 3 facturaciones de meses anteriores, con los consumos registrados por el gran usuario, con los costos y consideraciones a ofertar por el interesado a proveer el servicio, incluyendo los costos complementarios del mes respectivo.

Constancia o identificación de registro ante el AMM como comercializador o generador autorizado.

Constancia de la oferta firme disponible para cubrir el servicio ofertado.

Para contrataciones mayores a dos años se deberán revisar las condiciones contractuales al año de vigencia, siguiendo este procedimiento por ambas partes.

El proveedor deberá especificar cuáles serán las variables con las cuales el gran usuario será penalizado económicamente, de no cumplirse alguna de las condiciones contractuales. Se deberá especificar cuál es la fórmula de cálculo y la dependencia de esta penalización.

El proveedor deberá especificar si su oferta depende de algunos indexes que afecten el precio pactado, tales como: el precio spot, cambio del dólar, estacionalidad, volumen de energía utilizado, entre otros.

El oferente deberá estar de acuerdo que desglosará en la factura del servicio mensual, todos los ítems que se cobren en este servicio, incluyendo los gastos complementarios que incluyen los ajustes, los pagos al MER, AMM, equipo de medición, entre otros.

Estos requisitos, los datos técnicos obtenidos y el análisis matemático, antes mencionado, serán necesarios para analizar las diferentes condiciones contractuales que aparecen en el formulario de la Fase 4; el objeto de esta fase es que, cuando las mismas aparezcan en el formulario, ya hayan sido evaluadas concretamente y se cuente con las recomendaciones correspondientes.

Por lo anteriormente expuesto, en esta fase, considerando las anteriores y toda la información necesaria, se realiza el análisis de las condiciones contractuales para que en la próxima etapa las mismas ya sean presentadas para evaluación y toma de decisión del servicio a elegir.

Para realizar este objetivo se consideran, entre otros, las leyes y regulaciones vigentes de nuestro país, el entorno actual de las tecnologías de generación, el precio spot, las facturaciones emitidas del servicio respectivo, los reportes post despacho, la curva de carga y las condiciones contractuales ya firmadas en un contrato de servicio existente. Además, tomando en consideración que las condiciones contractuales deben también reflejar el entorno en el cual se opera como gran usuario, se utiliza un método matemático denominado Cadenas de Markov, el cual es un método estocástico, por medio del cual se puede proyectar

el comportamiento del mercado, lo cual es fundamental para poder tomar decisiones respecto al servicio a contratar.

Para realizar el contexto en el cual el gran usuario contrata un servicio, es necesario estar consciente de las condiciones de operación y transacción eléctricas del medio cuando se está evaluando la contratación, este contexto se refiere a estar al tanto de las tecnologías de generación del momento, los costos del mercado spot, los costos de peajes, los costos diferenciales, los precios de potencia y energía de este momento y, además, este trabajo realiza una proyección de estos parámetros para tener claro cómo las condiciones contratadas pueden variar y afectar los contratos firmados.

Esta evaluación se propone realizarse en un período de 2 años anteriores a la fecha de inicio de este trabajo, que permitirá evaluar la tendencia de los precios y principales características de este y pueda apoyarse para tomar decisión de las condiciones de precios a un mediano plazo para el cual se contratará la energía y potencia.

En esta etapa, el análisis de las condiciones contractuales se realiza con el objeto de constatar que las mismas se ajustan al requerimiento de energía, que lo que se contrató sea lo que realmente necesita el gran usuario en el momento de la firma y en el transcurso de vigencia del contrato.

Deberá tomarse en cuenta que hay muchos factores que afectan los servicios y las condiciones de este , estos factores pueden ser provocados por el gran usuario, por el comercializador o el generador; las regulaciones y normativos también pueden ser factores de cambio, la estación, el clima, nuevas tecnologías, fallas en las líneas de transmisión, en la operación, decisiones políticas, entre

otros , pueden afectar directamente las condiciones propuestas que se revisan, por lo que un análisis de las condiciones ya establecidas o por establecer será necesario para garantizar un contrato óptimo.

En el renglón 2 del formulario, que se encuentra en la siguiente fase, se solicita que el proveedor entregue algunos requisitos, previo a presentar este formulario. Estos requisitos deberán ser suministrados o solicitados por el gran usuario, los cuales se analizarán, junto con esta institución; entre los cuales deberían estar los siguientes.

Curva de carga suministrada por el gran usuario, al oferente, para que analice sus principales parámetros y que ajuste su oferta y tipo de contrato a ofertar.

Trámite para que el gran usuario cuente con acceso directo a los reportes post despachos emitidos por AMM.

Deberá considerar que el gran usuario no tendrá limitaciones en el volumen de energía a utilizar, la cual puede disminuir o aumentar según la curva de carga suministrada y lo cual no tendrá ninguna penalización por parte del proveedor, realizando las gestiones para que este cambio se pueda llevar a cabo.

Envío de costos complementarios actualizados que aparecerán en las facturaciones mensuales y sus regulaciones vigentes, para la proyección del total del servicio.

Envío de modificación oficiales de las regulaciones que afecten el servicio técnica y económicamente, especialmente los que afecten las condiciones contratadas y los costos complementarios.

Especificación de la ruta de transmisión de la energía, por medio de un unifilar, especificando los tramos y subestaciones que utilizará el proveedor para el suministro de la energía en el punto de suministro.

Entrega de 3 facturaciones de meses anteriores, con los consumos registrados por el gran usuario, con los costos y consideraciones a ofertar por el interesado a proveer el servicio, incluyendo los costos complementarios del mes respectivo.

Constancia o identificación de registro ante el AMM como comercializador o generador autorizado.

Constancia de la oferta firme disponible para cubrir el servicio ofertado.

Para contrataciones mayores a dos años se deberán revisar las condiciones contractuales al año de vigencia, siguiendo este procedimiento por ambas partes.

El proveedor deberá especificar cuáles serán las variables con las cuales el gran usuario será penalizado económicamente, de no cumplirse alguna de las condiciones contractuales. Se deberá especificar cuál es la fórmula de cálculo y la dependencia de esta penalización.

El proveedor deberá especificar si su oferta depende de algunos indexes, que afecten el precio pactado, tales como: el precio spot, cambio del dólar, estacionalidad, volumen de energía utilizado, entre otros.

El oferente deberá estar de acuerdo que desglosará en la factura del servicio mensual, todos los ítems que se cobren en este servicio, incluyendo los gastos complementarios que incluyen los ajustes, los pagos al MER, AMM, equipo de medición, entre otros.

Estos requisitos, los datos técnicos obtenidos y el análisis matemático, antes mencionado, serán necesarios para analizar las diferentes condiciones contractuales que aparecen en el formulario de la Fase 4; el objeto de esta fase es que, cuando las mismas aparezcan en el formulario, ya hayan sido evaluadas concretamente y se cuente con las recomendaciones correspondientes.

Por lo anteriormente expuesto, en esta fase, considerando las anteriores y toda la información necesaria, se realiza el análisis de las condiciones contractuales para que en la próxima etapa las mismas ya sean presentadas para evaluación y toma de decisión del servicio a elegir.

9.5.4 Fase 4: revisión del servicio contratado

En esta fase se verificará que lo que se contrató, según las condiciones contractuales, esté de acuerdo con el consumo de energía, con el objeto de verificar que el requerimiento de energía esté de acuerdo con las condiciones especificadas o si éstas ya no se ajustan al mismo, debido a que, probablemente, cuando se realizó el contrato las condiciones de operación y requerimiento de carga eran diferentes.

Es necesario, en esta etapa, elaborar la curva de carga, la cual nos indicará el requerimiento de la energía en función del tiempo. Esta actividad implica realizar un trabajo de campo que consiste en instalar un equipo de parámetros eléctricos que registre, de forma continua, en intervalos de tiempo de 15 minutos y durante un periodo de medición de al menos 8 días continuos, los requerimientos de energía en el servicio contratado.

Por medio del software propio del equipo a utilizar, se obtendrán los parámetros registrados y la curva de carga, de la cual se deberá especificar las principales características de esta, entre las cuales están:

- La potencia máxima del día.
- La potencia máxima en hora pico.
- La energía utilizada diariamente.
- El factor de carga.
- Se analiza la forma del requerimiento de energía y si se tiene un comportamiento típico en el período de medición.
- Su factor de potencia.
- Identificación de la principal carga con la mayor incidencia en la forma de la curva.

La curva de carga, junto a las facturaciones solicitadas y los informes post despachos, serán la base para evaluar los consumos y para verificar que lo contratado sea lo necesario y adecuado.

De no encontrarse congruencia en esta evaluación, será una de las razones para plantear modificaciones a las condiciones contractuales o para proponer otras que, al incluirse en el contrato, se ajuste mejor al requerimiento de energía, con los beneficios económicos o de servicio para el gran usuario.

Las condiciones contratadas pueden variar por diversas razones, ya mencionadas, por lo que el análisis de estas en un contrato existente o en el momento de contratar un servicio nuevo, deberá realizarse y se establece como uno de los pasos del procedimiento para la contratación de energía, por lo que también deberá evaluarse los siguientes aspectos:

- Condiciones contractuales
- Tipo de contrato firmado
- Precios acordados y forma de pagos
- Contexto en el período de contratación
- Precio spot
- Penalizaciones estipuladas
- Parámetros consignados: potencia y demanda máximas
- servicios complementarios
- Otros compromisos contractuales

Este análisis también es parte del procedimiento que se deberá realizar, como se mencionó anteriormente, previo a la contratación o renovación de un servicio energía eléctrica.

9.5.5 Fase 5: contextualización del gran usuario

El alcance de esta etapa será poner en contexto al gran usuario dentro del mercado de transacciones eléctricas de nuestro país, se hará énfasis en lo importante de su participación, considerando que más del 70 % de las transacciones de nuestro mercado son realizadas por estos, por medio de Contratos a Término, por lo que la evaluación de las condiciones contractuales es indispensable.

En esta fase se describe la operación de las transacciones nacionales y sus principales regulaciones para que operen los grandes usuarios, se establece también sus derechos y obligaciones. Se citan aquí las principales normas y los procedimientos establecidos, lo cual se respalda con otros procedimientos y lineamientos que se realizan en otros países con base en la literatura vigente a la fecha, para ampliar el criterio en su carácter de gran usuario.

Se presentará además las formas de compra de energía que existen y los riesgos y beneficios de cada una de ellas, se menciona aquí la compra de energía con un comercializador o con un generador, ambas son avaladas y respaldadas por las regulaciones actuales.

En esta fase se presentará y explicará los tipos de contrato que existen, homologados por AMM, cuáles son sus ventajas, sus desventajas y sus riesgos.

Lo anteriormente expuesto será con el objeto de generar un marco de referencia para que el gran usuario cuente con el conocimiento suficiente que le permita tomar la decisión de su participación de una manera más activa, dentro de las transacciones de nuestro país, con base en el conocimiento de sus

derechos y obligaciones; además de ponerlo en el contexto de su participación en las transacciones del sistema eléctrico con respecto a los otros agentes del mercado.

Es evidente que el gran usuario, en su participación de manera más activa, tendrá un beneficio económico directamente, cuando se habla del precio de la potencia y energía; pero, además, podrá negociar otras condiciones de servicio, en las cuales también podría mejorar su economía de una manera indirecta, así como la calidad de la atención por parte del proveedor y la calidad servicio recibido.

Para que el gran usuario tenga conocimiento de los costos complementarios, que tienen un peso de alrededor 35 % de las facturaciones mensuales del servicio, se le informa qué son los servicios complementarios y cómo funcionan los mismos; entre los que se consideran los peajes de transmisión primario y secundario, reservas del sistema, factores de pérdidas y varios temas relacionados que en este documento se desarrollan, que el operador del sistema utiliza para mantener la calidad del servicio eléctrico.

En el caso de que un gran usuario decida contratar la energía por medio de un comercializador, éste lo representa ante el AMM y delega en él su voto para la dirección de las transacciones eléctricas en nuestro país, por lo que el mismo deberá tener al tanto al gran usuario y garantizar que las decisiones que se tomen, en su nombre, no contravengan los intereses de este, con respecto a las condiciones ya firmadas, lo cual, a la fecha, ha quedado omitido en todos los contratos suscritos. También deberá solicitar que, si el comercializador lo representa, el mismo deberá velar por la calidad del suministro de energía del servicio contratado, operando como un mediador para dilucidar algunos aspectos

que podrían llegar a tratarse con el distribuidor, con el sistema de transmisión correspondiente o con el grupo generador, presentado el caso.

Finalmente, no está demás indicar que el alcance en su participación de manera más activa, lo podrá llevar hasta la junta directiva del AMM o la CNEE, en donde se toman muchas decisiones de las direcciones generales del sector eléctrico en nuestro país.

9.6 Alcances

El presente trabajo se realizará con el apoyo de un gran usuario, el cual se dedica al procesamiento de alimentos, ubicado en el área de servicio de Energuate, actualmente el servicio es suministrado por un comercializador. Utilizando el contrato vigente entre este gran usuario y la comercializadora, así como las facturaciones mensuales de este servicio y sus curvas de carga mensual registradas. Para realizar una comparación entre lo contratado, consumido y utilizado, esta información deberá ser suministrada para realizar los trabajos aquí planteados, lo cual será utilizado para analizar los contratos existentes y los contratos a realizarse a futuro antes mencionados.

Con los datos obtenidos, ordenados y realizando el análisis de las condiciones contractuales, este estudio tiene como objetivo principal elaborar y presentar un procedimiento para evaluar ofertas de servicios de energía para grandes usuarios, ya sea para renovar los mismos o para realizar contratos nuevos.

El presente también tiene el alcance de incentivar a los grandes usuarios a que participen de manera más formal en las transacciones de energía y potencia y sea un referente para que realicen las transacciones de energía de manera más participativa y formal, estimulados por los beneficios que implica para este participante del mercado.

9.7 Solución al problema de contratación

Con el procedimiento propuesto al final de este trabajo y con la utilización de este, se espera que la eficiencia de la contratación de servicios de energía mejore económicamente, con referencia a los precios que actualmente paga, en los siguientes porcentajes:

- Hasta en un 20 % si el gran usuario está actualmente comprando con un distribuidor.
- Hasta en un 12 % si el gran usuario está comprando con un comercializador.

El porcentaje se alcanzará y se podrá mejorar con la continuidad de este procedimiento y la actualización de este por parte de la del gran usuario.

9.8 Procedimiento de evaluación

Con los incisos anteriores se deja un procedimiento de evaluación del contrato vigente y de las posibles condiciones que pueden variar o incluirse en las renovaciones con el comercializador actual o las condiciones o cláusulas que se

deberán considerar para contratar el servicio con un comercializador diferente o con un generador determinado.

9.9 Resultados esperados

Se espera que este trabajo obtenga los siguientes resultados, posterior a su desarrollo y presentación.

Establecer un procedimiento formal para el análisis de las condiciones contractuales, que se debe observara previo a contratar o renovar un servicio de electricidad, como gran usuario.

Que el procedimiento sea de carácter general y estándar para que pueda ser utilizado en la contratación tanto del gran usuario, donde se realiza este trabajo, como de otros grandes usuarios que participan en el mercado eléctrico de nuestro país.

Que el gran usuario adopte este procedimiento previo a la contratación respectiva del servicio de electricidad.

Que el personal asignado para evaluar este procedimiento, por parte del gran usuario, tenga una idea clara sobre las condiciones a evaluar en cada contrato, para que realice un análisis que le permita evaluar las condiciones aquí planteadas y los cambios que se pueden presentar.

Que el gran usuario, a partir de este estudio, tome conciencia de los beneficios que tendrá el análisis de las condiciones contractuales para sus contratos y servicios de electricidad.

Que, una vez contratado el servicio, el mismo se pueda evaluar con este procedimiento, posterior a su contratación, las veces que se estime necesario, las que pueden ser cuando se modifique la carga o cuando el contrato esté por ser renovado, por lo tanto se podrá aplicar para servicios nuevos.

Se espera que este trabajo tenga un impacto directo en la forma de contratación del servicio de energía, en los dos aspectos que a continuación se mencionan, tanto en la contratación de servicios nuevos como en la renovación de los mismos:

- Económicamente, ajustando las condiciones contractuales al consumo y con el análisis respectivo de las mismas, se espera que el gran usuario pueda negociar contratos de servicio que le permitan mejorar los costos de este servicio en sus instalaciones, en un promedio de un 12-20 % del costo actual.
- Calidad de servicio, se espera que, con las condiciones revisadas y propuestas por el gran usuario, las cuales deberán incluirse en el contrato, tendrá un documento que respalde su requerimiento de atención y mejora de las condiciones del servicio, por parte del proveedor, y podrá contar con un medio para monitorear y mejorar también los parámetros de calidad del servicio contratado.
- Que el gran usuario tome conciencia de lo importante que puede llegar a ser en el medio de las transacciones de energía y potencia, que sepa cuáles son los

requisitos para operar dentro de este mercado, que conozca las opciones de compra y que, finalmente, sepa que su participación lo podrá llevar hasta las juntas directivas que toman las decisiones para dirigir el Mercado Mayorista.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

10.1 Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es mixto: cualitativo, en mayor porcentaje, y cuantitativo, en menor porcentaje. Ya que en el desarrollo se basa en el análisis y aplicación del buen criterio de ingeniería y el conocimiento de la aplicación de las regulaciones vigentes a la fecha. La parte cuantitativa se refiere al análisis de los costos y algunos parámetros de carácter puntual que son numéricas, como por ejemplo la potencia máxima, factor de carga, demanda firme y los parámetros eléctricos que se citarán en el presente.

El alcance es descriptivo, correlacional y explicativo, dado que inicialmente describe las características de las transacciones eléctricas de nuestro medio para contextualizar al gran usuario; posteriormente, con base teórica, revisar las condiciones de contrato, facturas y reportes post despacho para hacer una relación de lo contratado con el requerimiento de carga actual y explicar las diferencias a partir de estos tres aspectos, y el análisis de las condiciones de operación actual del mercado; analiza las condiciones con las cuales se suministra un servicio contratado como gran usuario.

El enfoque propuesto es de características no experimentales, ya que se toman los documentos de un proceso que ya transcurrió y que se utilizan como referencia para la contratación de nuevos servicios o renovación de estos.

La unidad de análisis serán las condiciones contractuales de carácter económico, de operación, técnicos y de temporalidad; es decir, las condiciones podrán variar y por medio de la correlación podrá tenerse un criterio para juzgar algunas condiciones. Con respecto al manejo de información de las dos primeras, será realizado por el suministro directo del contrato, de las facturas del servicio y de la curva de carga, que son datos existentes, es decir, se hace el análisis con enfoque explicativo.

Las características económicas son evaluadas de los informes públicos presentados por AMM, mes a mes, de donde se pondrán la mayor parte de variables que tienen relación con los costos del mercado, en esta parte se hace el análisis estadístico mencionado en este documento. Las variables a medir, son las siguientes:

Demanda máxima, potencia máxima, factor de carga, energía requerida, forma del requerimiento de energía. Estas variables de carácter técnico se obtendrán por medio de la curva de carga, la cual, como ya se mencionó, será presentada por medio del registro del sistema de medición del usuario bajo análisis.

Potencia máxima, demanda máxima, energía y gastos complementarios son datos que se presentan en las facturaciones mensuales del servicio analizado, se espera contar con al menos de 6 a 8 facturaciones.

Los económicos se refieren a los costos consignados en las facturaciones de potencia, energía y servicios complementarios; también se incluye el análisis de los reportes post despachos de características públicas, emitidas por las instituciones de nuestro país, especialmente el AMM, con los cuales se realiza

un análisis de las condiciones actuales e inferir o correlacionar de las mismas para tener referencia de condiciones probables a corto y mediano plazo.

10.2 Análisis matemático de transacciones del mercado de energía

La información para evaluar las tendencias del mercado será obtenida de la publicada por el AMM, en la cual se obtendrá algunos parámetros; a estos datos serán a los que se les aplique técnicas estadísticas para analizar el comportamiento de los costos de energía y potencia del mercado y poder tener una referencia para analizar la variación de los costos a corto plazo, para llegar a una conclusión con respecto a la implicación de esta variación dentro de las condiciones del contrato. Se obtendrán, entre otros, los siguientes parámetros:

- Precios medio del spot
- Desviación típica del precio medio
- Coeficiente de variación
- Precio horario máximo mensual
- Precio horario mínimo mensual
- Coeficiente del intervalo de medición
- Media del precio ponderado

Esta evaluación se propone realizarla en un periodo de 3 años, anteriores a la presente fecha, que permita evaluar la tendencia de los precios y principales características de este.

Otro método que se usará para analizar el mercado actual y tener una proyección, es el uso del método probabilístico de las cadenas de Markov. En las cuales la posibilidad que ocurra un evento depende únicamente del evento actual, es decir, que el método se usará para evaluar el estado actual e inferir sobre el posible estado siguiente. Lo cual se realizará para evaluar condiciones del mercado que incluye el precio spot, mencionada anteriormente en el marco teórico, este método denominado Cadena de Markov es utilizado incluso para proyectar el tipo de generación (Modica, 2013).

10.2.1 Estadística descriptiva

En esta sección se evalúa la utilización de la estadística descriptiva de forma cualitativa y cuantitativa, para analizar el comportamiento del mercado actual y compararlo con las condiciones del mercado y la operación de este. Esta evaluación también se utilizará para corroborar que el contrato vigente del servicio se adapta a los cambios que se presentan en el mercado, lo cual servirá de base para formular nuevas condiciones que se podrán incluir en la renovación de este.

- Precios medio del spot
- Desviación típica del precio medio
- Coeficiente de variación

- Precio medio horario máximo
- Precio medio horario mínimo
- Coeficiente del intervalo de medición

10.2.2 Cadenas de Markov

Por medio de las cadenas de Markov se evaluarán algunos parámetros y sus cambios esperados a futuro, de los cuales, se podrá inferir su comportamiento a mediano plazo, que puede usarse como una herramienta para decidir respecto a si algunas condiciones del contrato tendrán vigencia a futuro y que tanto afectara al contrato que se firma en un momento dado, si las mismas cambiaran, entre los aspectos a evaluar con este procedimiento están las siguientes.

- Proyección de las tecnologías de generación
- Proyección de variación de la demanda
- Proyección del cambio del dólar
- Proyección del precio de combustible fósil
- Proyección de variación de la demanda

A continuación, se presenta un resumen matemático de las Cadenas de Markov, basados en el capítulo 5, del libro A First Course in Probability and

Markov Chains (Modica, 2013), básicas para el desarrollo del análisis en este proyecto.

11. CRONOGRAMA

Figura 1. Cronograma de actividades

CRONOGRAMA DE EJECUCION DEL TRABAJO FINAL:		Análisis de las condiciones contractuales para mejorar la eficiencia en la contratación del servicio de energía eléctrica como gran usuario.																							
AL 2 SEPTIEMBRE 2020		SEMANA		SEMANA		SEMANA		SEMANA		SEMANA		SEMANA		SEMANA		SEMANA		SEMANA		SEMANA		SEMANA			
No	DESCRIPCIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	Inicio Seminario III																								
FASE INICIAL																									
1	Definir servicio de suministro de energía a analizar.																								
2	Recolección e investigación bibliográfica																								
3	Solicitud de información del servicio eléctrico.																								
4	Entrega de información por parte del gran usuario																								
5	Ordenamiento de la información entregada																								
FASE 1.																									
6	Contextualizar al gran usuario																								
7	Presentación de leyes y regulaciones vigentes																								
8	Presentación de contratos homologados.																								
9	Alternativas de compra de energía y potencia																								
FASE 2.																									
10	Desglose de condiciones contrato existente																								
11	Desglose de renglones de facturaciones.																								
12	Desglose de servicios complementarios																								
FASE 3.																									
13	Evaluación de condiciones del mercado																								
14	Evaluación de factores de cambio de condiciones contractuales																								
15	Evaluación de condiciones de requerimiento de energía actual																								
16	Elaboración de requisitos a proveedores del servicio.																								
17	Proponer condiciones de contrato.																								
FASE 4.																									
18	Evaluar las condiciones contractuales																								
19	Documentos de procedimientos evaluación de ofertas																								
20	Definir los pasos del procedimiento de contratación de servicios nuevos o de renovación.																								
21	Presentación de documentos finales del procedimiento de contratación																								
FASE 5																									
22	ELABORACIÓN DE TRABAJO FINAL																								

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente estudio es totalmente factible de realización, debido a los siguientes aspectos.

El gran usuario está interesado en realizar el estudio que aquí se propone, ya que ha comprendido que el ejecutar el mismo implicará un beneficio para su industria.

La inversión económica por parte de esta institución es relativamente baja y no supone desviación importante del presupuesto de cualquier departamento asignado para esto. Se estima que de acuerdo con lo platicado inicialmente el mismo se realice con el apoyo del Departamento de Administración Técnica de esta industria.

La industria contrata el servicio como gran usuario por lo tanto está sujeto a este estudio.

La industria cuenta con el reporte de medición mensual.

Por parte de este investigador lo más importante para desarrollar este trabajo es el tiempo invertido, sin embargo, se especifica un costo, que es el que al final se ahorra esta industria por este trabajo.

El asesor normalmente no solicita pago por la asesoría y acompañamiento, sin embargo, se especifica un costo, que es el que se también se ahorra esta industria.

12.1 Presupuesto

Se describe a continuación el desglose del presupuesto.

Tabla II. **Desglose de presupuesto**

PRESUPUESTO DE PARA REALIZAR EL TRABAJO DE GRADUACION						
No	DESCRIPCION UNID.	CANT.	PREC. UNIT	PREC. TOT.	SUMINIS	FACTIBILID.
					oct-20	
1	Entrega de do Global Contrato, facturas Reportes post-despacho	1	0	0	GU	100%
2	Entrega de re: Global de medición	1	0	0	GU	100%
3	Personal técn Días de la industria	12	Q200.00	Q2,400.00	GU	100%
4	Investigador c días	80	Q0.00	Q0.00	Inv.Tesis	100%
5	Asesor de tes días	22	Q0.00	Q0.00	ases. Tesi	100%
6	Elaboracion d Unidad	1	Q250.00	Q250.00	Inv. Tesis	100%
7	Impresión d Global	1	Q350.00	Q350.00	Inv. Tesi	100%
8	Gastos vehic Global combustible	1	Q1,200.00	Q1,200.00	Inv. Tesi	100%
9	Equipo oficir Global	1	Q175.00	Q175.00	Inv. Tesi	100%
10	COSTO TOTAL			Q4,375.00	IVA Incluido	

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Administrador del Mercado Mayorista. (1997) Reglamento del administrador del mercado mayorista. Diario de Centro América, Guatemala, 3 de abril 1997
2. Administrador del Mercado Mayorista. (1998). Normas de Cordinación Comerciales de Operación. *Normas Comerciales*. Diario de Centro América.Guatemala, 5 marzo 2007.
3. Administrador Mercado Mayorista. (2020). Informe *Transacciones Económicas*. Guatemala: Administrador Mercado Mayorista.
4. Almeda, J. (2005). *Métodos para reducir gastos de energía y potencia eléctrica* (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos, Guatemala.
5. Arcinegas,M. Imbajoa, D, y Revelo,S. (2017). Diseño e implementación de un Sistema de Medición Inteligente para AMI de la microrred de la Universidad de Nariño. *Enfoque UTE [online], Volumen 8*, pp 300-314. doi:<https://dx.doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n1.136>
6. Beamonte, D. (2003). *Los contratos de energía y programación semanal de producción*.(Tesis de Maestría) Universidad Pontificia Comillas, Madrid.

7. Calderón, F. (2018). *Energía y Potencia para Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas. Guatemala.
8. Cardona, E. (2011). *Método para optimizar los costos del servicio de energía eléctrica de grandes usuarios en Colombia, incorporando flexibilidad en la demanda*. (Tesis de Maestría). Universidad EAFIT, Colombia.
9. Comisión Nacional de Energía. (2003). *Tarificación*. Recuperado de <https://www.cne.cl/tarificacion/electrica/feed/>
10. Cooter, R. (2016). *Derecho y Economía*. (6ª edición.). México: Fondo de Cultura Económica.
11. Cortez, J. (2003). *Estudio de prefactibilidad para suministro de energía eléctrica en la ciudad universitaria del mercado mayorista* (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos, Guatemala.
12. Decreto del Congreso de la República de Guatemala.. Decreto Ley 93-96. *Ley general de electricidad*. Diario de Centro América. Guatemala, 15 de noviembre de 1996.
13. Enel Grupo. (2019). *Contratos de servicio públicos de energía eléctrica*. Nicaragua: Enel.
14. Fernández, J. (2002). *Análisis de mercados eléctricos liberalizados a escala internacional*.(Tesis de Maestría) Instituto de Postgrado y

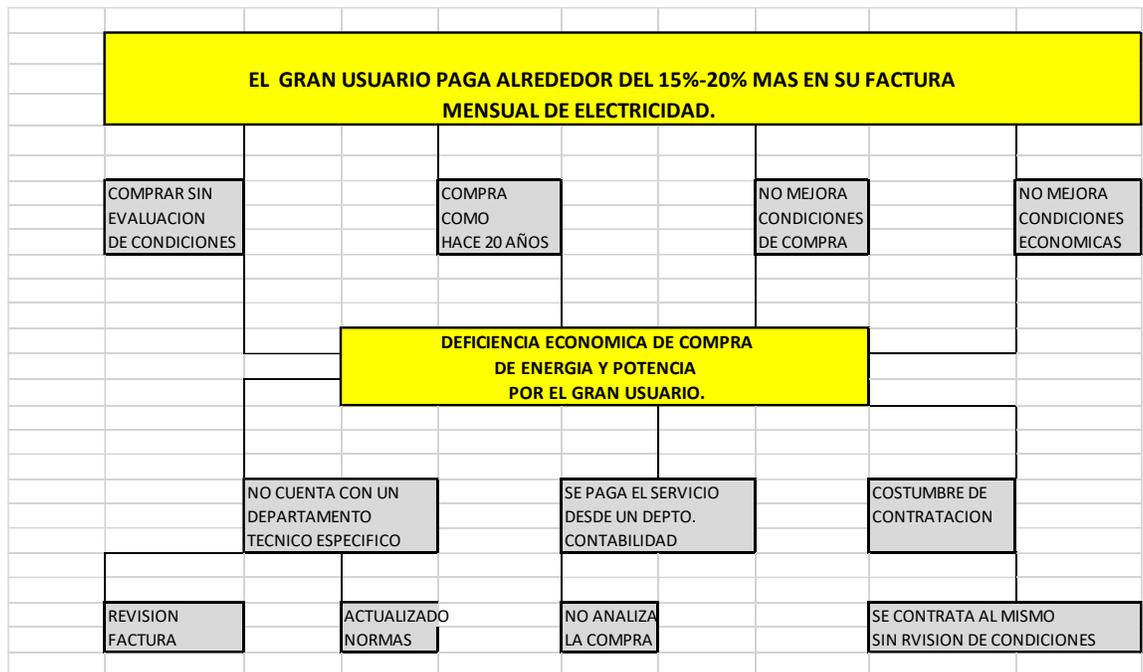
Formación Continua, Escuela técnica superior de ingeniería.
Universidad Pontificia de Comillas, Madrid.

15. Harrys, C. (2013). *Electricity markets: Pricing, structures and Economics*. (2ª edición.) Inglaterra: Jhon Wiley and Son Ltd.
16. Mendez, P. (2013). *Gestión de la demanda de energía eléctrica en la empresa Cartopel de Cuenca* (Tesis de Maestría). Universidad de Cuenca, Quito.
17. Modica, P. (2013). *A first course in probability and Markov chains*. (1ª edición.) Italia: John Wiley & Sons, Ltd.
18. Palma, R. (2013). El sector eléctrico en Chile: desafío para la innovación y desarrollo. *Anales*, 7(5), 99-111. doi:10.5354/0717-8883.2014.31638
19. Salazar, G. (2007). *Análisis de riesgo para distintas modalidades de contratos bilaterales de energía eléctrica*. Cenace. DOI: 10.37116/revistaenergia.v3.n1.2007.272
20. Sobre, R. (2003). *Los contratos en el mercado eléctrico* (10ª edición.). España: Abaco de Rodolfo Depalma.
21. Taha, H. (2004). *Investigación de operaciones* (7ª edición.). México: Pearson Educación.

22. Vega, M. (2004). *Cadenas de Markov de tiempo continuo y aplicaciones*.(Tesis de Licenciatura). Universidad de la República, Montevideo Uruguay.
23. Xiang, *et. al.* (2018). Management of Bilateral Contracts for Gencos Considering the risk in spot market applied. *sciencedirect*, 159 (2019),299-303.
24. Yusta, J. (2010). *Contrataciones de servicios eléctricos* (1ª edición.). España: S.A. Ediciones Paraninfo.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

TITULO DE LA INVESTIGACION			
Análisis de las condiciones contractuales para mejorar la eficiencia en la contratación del servicio de energía eléctrica como Gran Usuario.			
MATRIZ DE COHERENCIA			
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	PREGUNTAS DE INVESTIGACION	METODOLOGIA	OBJETIVOS
	¿Realiza el Gran Usuario un procedimiento de análisis de las condiciones contractuales, previo la firma de un contrato, en la modalidad de Gran Usuario?	Elaboración de formularios y documentos de referencia. para comparar y sopesar las condiciones de un a oferta.	Elaborar un procedimiento para la evaluación de las condiciones contractuales para contratar o renovar un servicio eléctrico.
Actualmente el Gran Usuario no cuenta con un análisis de las condiciones contractuales para la contratación de servicios de energía nuevos o para renovar los mismos.	1. ¿Qué características debe considerar el Gran Usuario para evaluar las condiciones contractuales?	Evaluar las condiciones existentes del requerimiento de energía y proyecciones de carga a corto y mediano plazo y realizar un análisis si el mismo esta de acuerdo a las cláusulas del contractuales del servicio.	realizar una análisis de las condiciones contractuales para conocer sus implicaciones en un contrato de energía, cuando éste entre en vigencia en un servicio nuevo o en una renovación.
	2. ¿Revisa el Gran Usuario, si los servicios contratados y sus condiciones, esta de acuerdo con el requerimiento de energía actual?	Análisis de las condiciones contractuales que normalmente se encuentran en los contratos y sus posibles variaciones en el tiempo.	Evaluar condiciones de requerimiento de energía contractual en este servicio para verificar que las mismas se ajusten a la a la demanda actual
	3. ¿Considera el Gran Usuario el entorno de las transacciones eléctricas y los factores de cambio para decidir sobre la contratación o renovación de un servicio eléctrico ?	Analizar las condiciones actuales y futuras del mercado y como inciden los principales factores en estas condiciones para contratar o renovar los servicios eléctricos	Realizar un análisis del entorno de las transacciones eléctricas en nuestro país y poder inferir a mediano o corto plazo su incidencia en la contratación del servicio eléctrico con un proveedor determinado.

Fuente: elaboración propia.

14. ANEXOS

Anexo 1. Cadenas de Markov

- Introducción matemática

Se define una matriz estocástica $\mathbf{P} = (P_{ij}) \in M(N, N)$, N es llamada matriz estocástica, si cada fila está conformada por un vector estocástico que cumple:

$$P_{ij} \geq 0, \quad \sum_{j=1}^N P_{ij} = 1 \quad \forall i, j.$$

Cada componente de la matriz representa la posibilidad de transición de un estado i a un estado j .

- Proceso estocástico de tiempo discreto

Se define de la siguiente manera:

$S = \{1, \dots, N\}$ un conjunto numerable de valores que pertenecen a los números reales.

Continuación del anexo 1.

Un conjunto de posibles valores que toman las variables aleatorias y las cuales se definen en este conjunto, se dice que es un proceso de tiempo discreto con valores contenidos en S .

Se observa que $\{X\}$ tiene las siguientes características:

- (i) La definición: una secuencia $\{X_n\}$ de variables aleatorias con valores contenidos en S .
 - (ii) Una secuencia de estados $\{X(x)\} \subset S$, indexado por el parámetro $x \in \Omega$, lo cual es una secuencia de estados tomados por el punto $x \in \Omega$, en donde Ω es el conjunto de posibles valores de x .
 - (iii) Un mapa lo indica: $X: N \times \Omega \rightarrow S$
- Matriz de transición

Consideremos que $\{X_n\}$ sea un proceso estocástico con estados numerables estado-espacio S . Para cada $n \geq 0$, entonces la matriz:

$$\mathbf{P}(n) := (\mathbf{P}(n)_{ij})_{i,j \in S}$$

$$\mathbf{P}(n+1)_{ij} := \begin{cases} \mathbb{P}(X_{n+1} = j \mid X_n = i) & \text{if } \mathbb{P}(X_n = i) > 0, \\ \delta_j^i & \text{if } \mathbb{P}(X_n = i) = 0. \end{cases}$$

Se llama matriz estocástica a $\mathbf{P}(n)$ a la matriz de transición de probabilidades o matriz de transición del proceso $\{X_n\}$ desde el paso n th al paso $(n+1)$ th.

Continuación del anexo 1.

- Propiedad de la cadena de Markov

Definición: para un proceso estocástico $\{X_n\}$ con un finito y numerable estado-espacio S se dice que tiene la propiedad de Markov para cualquier entero positivo.

$P(X_{n+1} = i_{n+1} \mid X_n = i_n, \dots, X_{k+1} = i_{k+1}, X_k = i_k) = P(X_{n+1} = i_{n+1} \mid X_n = i_n)$, esta propiedad indica que la probabilidad de estar en un estado determinado, a futuro, únicamente depende del estado presente, y no toma en cuenta lo anteriormente ocurrido ni los eventos intermedios entre el paso presente y el estado evaluado.

- Gráficos orientados

Es una manera gráfica de indicar cuáles son los estados posibles y la posibilidad de cambiar de un estado a otro, indicándolo con arcos, los cuales parten de un estado y llegan a otro y sobre ellos se coloca la probabilidad de realizar este cambio de estado, en la dirección indicada; se observa, además, qué estados se pueden comunicar y cuáles no. A continuación, se presenta la gráfica que resume el presente procedimiento.

Continuación del anexo 1.

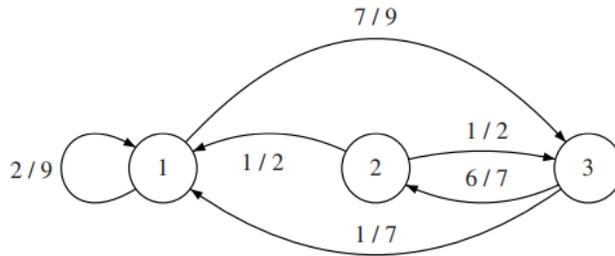


Figure 5.1 A graph representing the matrix \mathbf{P} defined in (5.1).

$= \{ P_{ij} \text{ si hay un arco entre } i,j \text{ y } 0 \text{ de otra manera.}$

$$(\mathbf{A}')^i_j :$$

Como un ejemplo de este procedimiento se representa la matriz, de tres por tres, para el grafico antes indicado, el cual aparece a continuación.

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 2/9 & 0 & 7/9 \\ 1/2 & 0 & 1/2 \\ 1/7 & 6/7 & 0 \end{pmatrix}$$

Se observa que las sumatoria de las filas es igual a 1, una de las características de estas matrices. Por otra parte, cada componente de esta matriz representa la posibilidad de cambiar a otro estado o la posibilidad de quedarse en el mismo estado.

Se deduce entonces que es un procedimiento gráfico para formar la matriz de transición, indicada en las cadenas de Markov.

Continuación del anexo 1.

- Proceso homogéneo de las cadenas de Markov

Para un proceso estocástico $\{X_n\}$ que cumple la propiedad de las cadenas de Markov:

$$P_{(n+1)i, j} = P(X_{n+1} = j \mid X_n = i)$$

si hacemos que K sea igual a cero tenemos:

$\pi(n+0) = \pi(0)P^n$, lo cual indica que la evaluación de un evento a futuro, que pasara en el tiempo “n” dependerá del estado inicial $\pi(0)$ multiplicado por la matriz de transición elevada a “n”. Donde $\pi(0)$ son las condiciones iniciales con la que parte el proceso de análisis.

- Caminata aleatoria

Otro ejemplo de usos de la cadena de Markov es un proceso denominado caminata aleatoria, en el cual es considerando un estado inicial, del cual parte a un estado o a otro estado, teniendo la posibilidad ‘p’ de ir a ese estado y al otro estado puede llegar con probabilidad ‘q’, en donde ‘p+q =1’. En este proceso, el estado siguiente únicamente dependerá del estado anterior, de donde parte, lo cual es una de las características de las cadenas de Markov.

Fuente: Modica. (2013). *A first course in probability and Markov chains*.