



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrado

Maestría en Artes en Gestión de Mercados Eléctricos
Regulados

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL PRECIO DE OPORTUNIDAD DE LA ENERGÍA
CONSIDERANDO LA DEMANDA DE EXPORTACIÓN NO FIRME DURANTE EL AÑO 2020**

Ing. Brayan Stid Ortíz Sosa

Asesorado por el Mtro. Ing. René Roberto Castellanos Moreira

Guatemala, septiembre de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL PRECIO DE OPORTUNIDAD DE LA ENERGÍA
CONSIDERANDO LA DEMANDA DE EXPORTACIÓN NO FIRME DURANTE EL AÑO 2020**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. BRAYAN STID ORTÍZ SOSA

ASESORADO POR EL MTRO. ING. RENÉ ROBERTO CASTELLANOS MOREIRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ARTES EN GESTIÓN DE MERCADOS ELÉCTRICOS
REGULADOS**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Carlos Alfredo Boj de León
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL PRECIO DE OPORTUNIDAD DE LA ENERGÍA
CONSIDERANDO LA DEMANDA DE EXPORTACIÓN NO FIRME DURANTE EL AÑO 2020**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 28 de octubre de 2022.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Brayan Stid Ortíz Sosa', written in a cursive style.

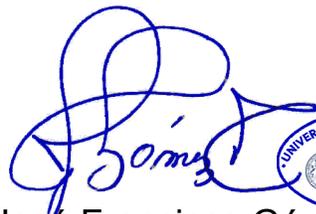
Ing. Brayan Stid Ortíz Sosa

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.652.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL PRECIO DE OPORTUNIDAD DE LA ENERGÍA CONSIDERANDO LA DEMANDA DE EXPORTACIÓN NO FIRME DURANTE EL AÑO 2020**, presentado por: **Ing. Brayan Stid Ortiz Sosa**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Gestión de mercados eléctricos regulados después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. José Francisco Gómez Rivera

Decano a.i.

Guatemala, septiembre de 2023

JFGR/gaoc



Guatemala, septiembre de 2023

LNG.EEP.OI.652.2023

En mi calidad de Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL PRECIO DE OPORTUNIDAD DE LA ENERGÍA CONSIDERANDO LA DEMANDA DE EXPORTACIÓN NO FIRME DURANTE EL AÑO 2020”

presentado por **Ing. Brayan Stid Ortíz Sosa** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Gestión de mercados eléctricos regulados** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





Guatemala, 2 de junio de 2023

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL PRECIO DE OPORTUNIDAD DE LA ENERGÍA CONSIDERANDO LA DEMANDA DE EXPORTACIÓN NO FIRME DURANTE EL AÑO 2020** del estudiante **Brayan Stid Ortíz Sosa** quien se identifica con número de carné **201404162** del programa de Maestria En Gestion De Mercados Electricos Regulados.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador
Maestria En Gestion De Mercados Electricos Regulados
Escuela de Estudios de Postgrado

Oficina Virtual



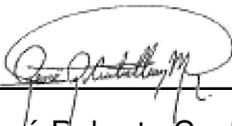
Guatemala, 2 de junio de 2023

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrados
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL PRECIO DE OPORTUNIDAD DE LA ENERGÍA CONSIDERANDO LA DEMANDA DE EXPORTACIÓN NO FIRME DURANTE EL AÑO 2020"** del estudiante **Brayan Stid Ortíz Sosa** del programa de **Maestría En Gestion De Mercados Electricos Regulados** identificado(a) con número de carné 201404162.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Msc. Ing. René Roberto Castellanos Moreira

Colegiado No. 14999

Asesor de Tesis

René Roberto Castellanos Moreira
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 14,999

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por permitirme alcanzar una meta más en mi vida.
Mis padres	Raul Ortiz y Mirna Sosa por haberme dado la oportunidad de estudiar profesionalmente. Gracias por ser fuente de amor, comprensión y motivación incondicional.
Mi esposa e hija	Por brindarme su apoyo, amor, comprensión y motivación, para alcanzar cada una de nuestras metas.
Mis hermanos y sobrinos	Muchas gracias por su cariño y constante apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por todas las bendiciones en mi vida y en la de mi familia.
Mi familia	Por el cariño, consejos y apoyo incondicional.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios en donde tuve la oportunidad de formarme académicamente.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
Mi asesor y amigo	MSc. Ing. René Roberto Castellanos Moreira, por haberme guiado en la elaboración del trabajo de graduación.
Mis amigos	Por los momentos de alegría, tristeza, dificultades y logros compartidos.

2.1.3.1.	Precio de oportunidad de la energía ...	11
2.1.3.2.	Participantes del mercado mayorista ..	12
2.1.3.2.1.	Generador	13
2.1.3.2.2.	Transportista	14
2.1.3.2.3.	Distribuidor	14
2.1.3.2.4.	Comercializador	15
2.1.3.2.5.	Grandes usuarios	15
2.1.3.3.	Generación forzada	15
2.1.4.	Exportación de energía eléctrica de Guatemala hacia otros mercados	17
2.1.4.1.	Contratos firmes	18
2.1.4.2.	Contratos no firmes físicos flexibles	19
2.1.4.3.	Ofertas al Mercado de Oportunidad Regional	19
2.2.	Demanda de electricidad para Guatemala	19
2.2.1.	Demanda máxima histórica de potencia	20
2.2.2.	Demanda de exportación	21
2.2.2.1.	Demanda de exportación del MER	22
2.2.2.2.	Demanda de exportación del MOR	22
2.2.2.3.	Demanda de exportación de México	23
2.3.	Teoría marginalista	23
2.3.1.	Mercados eléctricos marginalistas	23
2.3.1.1.	Costos variables de generación	25
2.3.1.2.	Orden de mérito	25
2.4.	Análisis estadístico	27
2.4.1.	Distribución de frecuencias	27
2.4.1.1.	Distribución de frecuencia para variables continuas.....	28
2.4.1.1.1.	Rango	28

	2.4.1.1.2.	Número de categorías ...	28
	2.4.1.1.3.	Amplitud	29
	2.4.1.1.4.	Límites de cada categoría	29
	2.4.1.1.5.	Determinación de las frecuencias	29
	2.4.2.	Distribución normal	30
2.5.		Lugar donde se realizará la investigación	30
2.6.		Unidad de análisis.....	31
3.		PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	33
3.1.		Objetivo 1: cuantificar el volumen mensual de la demanda de exportación no firme para el sistema eléctrico guatemalteco ...	33
	3.1.1.	Análisis descriptivo de la información	33
		3.1.1.1. Transacciones de exportación	34
3.2.		Objetivo 2: determinar el precio de oportunidad de la energía promedio mensual que se establece a partir de una demanda unificada.....	39
	3.2.1.	Análisis descriptivo de la información	40
3.3.		Objetivo 3: identificar el tipo de tecnología que predominantemente establece el precio de oportunidad de la energía al no considerar una separación de demandas ..	42
	3.3.1.	Análisis descriptivo de la información	42
3.4.		Objetivo general: determinar el comportamiento del precio de oportunidad de la energía al considerar la demanda de exportación no firme como parte de la demanda por abastecer para el año 2020	44
	3.4.1.	Comparativa entre precios <i>spot</i>	45

4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	47
4.1.	Análisis interno	49
4.2.	Análisis externo	51
	CONCLUSIONES	55
	RECOMENDACIONES	57
	REFERENCIAS	59
	APÉNDICES	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura institucional	10
2.	Participantes del mercado mayorista	13
3.	Despacho económico y generación forzada del mercado mayorista de Guatemala.....	16
4.	Demandas máximas históricas de potencia	21
5.	Consumo y exportación de energía	22
6.	Ejemplo distribución normal	30
7.	Sistema eléctrico regional	34
8.	Demandas abastecidas por el parque generador de Guatemala	37
9.	Demandas de energía registradas durante el 2020	38
10.	Demandas de energía registradas mensualmente en el 2020	39
11.	Dispersión de precios de oportunidad de la energía establecidos con demandas unificadas	41
12.	Tecnologías que marcan el precio de oportunidad de la energía.....	42
13.	Tecnologías que establecen el precio de oportunidad de la energía para todo el 2020	44
14.	POE promedio mensual para el 2020	46

TABLAS

I.	Operativización de variables	XXII
II.	Transacciones internacionales de Guatemala	17
III.	Lista de mérito del mercado mayorista de Guatemala	26

IV.	Transacciones de exportación hacia el MER	35
V.	Transacciones de exportación hacia el mercado eléctrico mexicano ..	35
VI.	POE a partir de una demanda unificada	40
VII.	Tecnología que establece predominantemente el POE	43
VIII.	Comparativa entre precios de oportunidad de la energía	45

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
\$	Dólar estadounidense
\$/KW-mes	Dólares por kilovatio mes
\$/MWh	Dólares por megavatio hora
GW	Giga vatio
GWh	Giga vatio hora
h	Horas
=	Igual que
KW	Kilovatio
≥	Mayor o igual que
>	Mayor que
MW	Megavatio
MWh	Megavatio hora

GLOSARIO

Agentes del Mercado Mayorista	Son los generadores, comercializadores, distribuidores, importadores, exportadores y transportistas cuyo tamaño supere el límite establecido en el Reglamento de la Ley General de Electricidad.
AMM	Administrador del Mercado Mayorista, entidad encargada de la operación y liquidación del mercado eléctrico guatemalteco.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica, ente regulador encargado de cumplir y hacer cumplir la Ley General de Electricidad y su reglamento.
Contrato firme	Contrato que da prioridad de suministro de la energía contratada a la parte compradora, debe tener asociado derechos de transmisión entre los nodos de inyección y retiro.
Contrato no firme físico flexible	Contrato que conlleva la entrega o recepción de la energía contratada, afecta el predespacho de energía y puede tener asociadas ofertas de pago máximo por cargos variables de transmisión y ofertas de flexibilidad asociadas a la entrega de energía.

Costo Variable de Transmisión	Es el máximo cargo a pagar por la diferencia de los precios nodales en contrato no firme físico flexible.
CVg	Costo variable de generación, es el costo en el que incurre una planta de generación para la producción de un megavatio hora de energía.
EOR	Ente Operador Regional, encargado de la coordinación y liquidación de las transacciones realizadas en el Mercado Eléctrico Regional.
Factor de pérdidas nodales	Refleja las pérdidas marginales de transmisión para satisfacer un incremento de energía en un nodo.
Generación forzada	Generación forzada, es la generación que resulta con un costo variable de generación mayor al precio de oportunidad de la energía y que es necesaria para criterios de calidad, seguridad y confiabilidad del sistema.
Gran usuario	Es aquel cuya demanda de potencia excede los 100 KW.
LGE	Ley General de Electricidad, en ella se detallan los principios y obligaciones de todas las entidades involucradas en el subsector eléctrico.
Lista de mérito	Lista de mérito, es la tabulación de los generadores eléctricos disponibles para el despacho económico,

los cuales se enlistan de menor a mayor costo variable de generación.

MER	Mercado Eléctrico Regional, conjunto de transacciones de compra y venta de energía entre los países centroamericanos.
Mercado de oportunidad	Es el conjunto de transacciones de compra y venta de electricidad de corto plazo, no basado en contratos a término.
Mercado mayorista	Es el mercado mayorista de electricidad en el que se realizan operaciones de compra y venta de bloques de potencia y energía que se efectúan a corto y largo plazo entre agentes del mercado.
MOR	Mercado de Oportunidad Regional, conjunto de transacciones de corto plazo realizadas entre agentes del Mercado Eléctrico Regional, no basados en contratos.
POE	Precio de Oportunidad de Energía, es el precio marginal de corto plazo del mercado eléctrico de Guatemala.
Precio <i>spot</i>	Es el precio marginal de corto plazo del mercado eléctrico de Guatemala, también conocido como POE.

RAMM	Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, en él se detallan las obligaciones, responsabilidades y la forma de actuar del AMM.
RLGE	Reglamento de la Ley General de Electricidad, es un detalle y especificación de la Ley, adicionalmente se describen los derechos y obligaciones de todos los participantes del mercado mayorista.
SDE	Es un motivo de generación forzada como resultado del despacho de centrales de generación para abastecer la demanda de exportación no firme.
Sistema eléctrico nacional	Es el conjunto de instalaciones, centrales generadores, líneas de transmisión, subestaciones eléctricas, redes de distribución, equipo eléctrico, centros de carga y en general toda la infraestructura eléctrica destinada a la prestación del servicio de electricidad.
Sistema Nacional Interconectado	Representa la porción interconectada del sistema eléctrico nacional.

RESUMEN

El presente estudio tiene como propósito identificar el crecimiento del precio de oportunidad de la energía al considerar toda la demanda que abastece el parque generador instalado en Guatemala, ya que la sostenibilidad del mercado eléctrico se logra remunerando de forma justa y objetiva a los agentes del mercado. El alcance es descriptivo puesto que se identificó el crecimiento mensual y el tipo de tecnología que estableció el nuevo POE.

El objetivo general es analizar el comportamiento del precio de oportunidad de la energía considerando la demanda de exportación no firme durante el año 2020.

El enfoque es de tipo mixto, dado que se analizaron datos cuantitativos como los MWh exportados y el POE en \$/MWh, además, se identificaron características cualitativas como la tecnología y el combustible utilizado por los generadores en la producción de electricidad. Esto se realizó mediante la tabulación de datos recolectados de los informes del AMM y del EOR.

El principal resultado refleja un aumento mensual del precio *spot* al considerar la demanda de exportación no firme, adicionalmente, se identificó el impacto de la pandemia del COVID-19 en el POE a partir de abril del 2020.

En conclusión, se determinó que la energía producida y vendida en el mercado de oportunidad es remunerada un 33 % más, en comparación al POE promedio oficial del 2020. Por lo anterior, es recomendable que la metodología

de cálculo del precio de oportunidad de la energía sea modificada tomando en cuenta la demanda de exportación no firme.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Contexto general

Actualmente el abastecimiento de la demanda de energía eléctrica en el país se lleva a cabo a través del Administrador del Mercado Mayorista con base a la Ley General de Electricidad decreto No. 93-96 del Congreso de la República de Guatemala, Reglamento de la Ley General de Electricidad Acuerdo Gubernativo No. 256-97 y las normas del marco regulatorio del subsector eléctrico de Guatemala.

El sistema eléctrico guatemalteco abastece la demanda registrada dentro del territorio nacional más la demanda de exportación. La demanda de exportación puede desintegrarse según el tipo de transacción, pudiendo realizarse a través de contratos firmes, contratos no firmes físicos flexibles o en transacciones de oportunidad.

La producción de energía total de las centrales de generación instaladas en el país para el año 2020 fue de 12,206.63 GWh, en cuanto al consumo de energía dentro del territorio nacional incluyendo consumos propios de los agentes generadores alcanzó los 10,673.14 GWh, referente a la exportación de energía hacia el Mercado Eléctrico Regional resultó en 1,056.91 GWh, mientras que la exportación hacia México fue de 99.12 GWh (Administrador del Mercado Mayorista, 2020).

En la norma de coordinación comercial número 4 se establece que la demanda de energía del sistema nacional interconectado más la demanda de

exportación a través contratos firmes, es la demanda considerada para el establecimiento del precio de oportunidad de la energía.

- Descripción del problema

Dado que la demanda que abastece el parque generador instalado en el país fue separada por el consumo nacional y el de exportación, tiene como principal efecto que la demanda de energía eléctrica empleada para la determinación del precio de oportunidad de la energía no sea el 100 % a la que se ve sometido el sistema eléctrico guatemalteco.

El hecho de que el precio de oportunidad de la energía sea establecido por máquinas que cubre únicamente la demanda nacional y la de exportación en contratos firmes, provoca que los agentes generadores tengan menores ingresos en la venta de energía eléctrica, ya que su producción de energía se ve valorizada a precios que no siempre son establecidos por el último generador despachado.

- Delimitación del problema

El trabajo de graduación se realizó sobre precio de oportunidad de la energía del mercado eléctrico guatemalteco.

El estudio aborda el impacto en el precio de oportunidad de la energía a partir de la consideración de toda la demanda nacional y de exportación para su establecimiento, con el estudio se busca brindar a los agentes del mercado un estimado del crecimiento del precio de oportunidad de la energía para análisis económicos al realizar compras y ventas en el mercado de oportunidad.

- Formulación del problema

- Pregunta central

¿Cuál es el comportamiento del precio de oportunidad de la energía al considerar la demanda de exportación no firme como parte de la demanda por abastecer durante el 2020?

- Preguntas auxiliares

- ¿Cuánto es el volumen mensual de la demanda de exportación no firme para el sistema eléctrico guatemalteco durante el 2020?
 - ¿Cuál es el precio de oportunidad de la energía promedio mensual que se establece a partir de una demanda unificada?
 - ¿Qué tipo de tecnología predominantemente establece el precio de oportunidad de la energía al no considerar una separación de demandas?

OBJETIVOS

General

Analizar el comportamiento del precio de oportunidad de la energía considerando la demanda de exportación no firme durante el año 2020.

Específicos

1. Cuantificar el volumen mensual de la demanda de exportación no firme para el sistema eléctrico guatemalteco.
2. Determinar el precio de oportunidad de la energía promedio mensual que se establece a partir de una demanda unificada.
3. Identificar el tipo de tecnología que predominantemente establece el precio de oportunidad de la energía al no considerar una separación de demandas.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

- Enfoque

El presente estudio tiene un enfoque de tipo mixto dado que los datos recolectados fueron analizados por sus características cuantitativas para determinar el precio de oportunidad de la energía que se establece unificando la demanda local y la demanda de exportación, además, se analizaron las características cualitativas de los agentes generadores para determinar el tipo de tecnología que predominantemente establece el nuevo POE.

- Diseño

El diseño que se adoptó fue de tipo no experimental, ya que los datos empleados del Administrador del Mercado Mayorista y del Ente Operador Regional es información histórica utilizada únicamente para cálculo del nuevo POE no sufriendo modificaciones.

- Tipo de estudio

El estudio empleado fue de tipo descriptivo ya que se analizó el comportamiento del precio de oportunidad de la energía mediante la incorporación de toda la demanda de exportación en la metodología de cálculo del precio marginal de cada periodo.

- Alcance

El trabajo de investigación tiene un alcance descriptivo dado que se analizó el impacto que causa la consideración de una mayor demanda en el precio de oportunidad de la energía, logrando con esto observar el tipo de tecnología que predominantemente hubiese marcado el precio según el despacho económico del mercado eléctrico mayorista.

- Variables e indicadores

Las variables han sido identificadas según la influencia que tienen en el objetivo general del presente trabajo de investigación, siendo: precio de oportunidad de la energía, demanda de exportación de energía no firme, tecnología de centrales generadores.

A continuación, se describen las variables en estudio.

Tabla I. **Operativización de variables**

Objetivo específico	Nombre de la variable	Tipo de variable	Indicador	Técnica o instrumento
1. Cuantificar el volumen mensual de la demanda de exportación no firme para el sistema eléctrico guatemalteco.	Cuantificación de la demanda de exportación no firme	Cuantitativa	Cantidad de MWh de exportación mensual	Revisión de informes del Ente Operador Regional para elaboración del instrumento de tabulación de la energía exportada

Continuación de la tabla I.

Objetivo específico	Nombre de la variable	Tipo de variable	Indicador	Técnica o instrumento
2. Determinar el Precio de Oportunidad de la Energía mensual que se establece a partir de una demanda unificada.	Determinación del POE mensual	Cuantitativa	Valor del POE en \$/MWh mensual	Revisión de informes del Administrador del Mercado Mayorista para elaboración del instrumento de tabulación de datos de GF, LDM, FPNE y POE
3. Identificar el tipo de tecnología que predominantemente establece el Precio de Oportunidad de la Energía al no considerar una separación de demandas.	Identificación de la tecnología que establece el nuevo POE	Cualitativa	Identificación del porcentaje en base al POE mensual: fotovoltaica, turbina eólica, turbina hidroeléctrica, turbinas de vapor, motores reciprocantes, turbinas de gas	Instrumento de tabulación de la tecnología que marca el precio <i>spot</i>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Población

La población del trabajo de investigación está conformada por el precio de oportunidad de la energía que se registró en cada hora durante el 2020, siendo

un total de 8,784 precios *spot* dado que es un año bisiesto (24 periodos diarios por 366 días del 2020).

- Fases de estudio

A continuación, se presentan las fases de estudio empleadas

- Fase: en esta fase se realizó una revisión documental, iniciando por el marco regulatorio del subsector eléctrico de Guatemala, además, se realizó una búsqueda de fuentes bibliográficas e información estadística, que sirvió de base teórica para el desarrollo de la presente tesis.
- Fase 2: en esta fase se utilizó la información pública del Ente Operador Regional y del Administrador del Mercado Mayorista para elaborar una base de datos con el volumen de exportación registrado de forma horaria-diaria durante el 2020, tomando en cuenta el tipo de transacción realizada (transacciones de oportunidad o transacciones en contratos).
- Fase 3: en la tercera fase se elaboró una base de datos con los generadores que establecieron el POE oficial del 2020, se identificaron los generadores asignados con generación forzada por demanda de exportación como resultado de un costo variable de generación superior al precio *spot*, adicionalmente se tabularon los CVg y los factores de pérdidas nodales asociados a cada central generadora. En esta fase se utilizó la información pública del Administrador del Mercado Mayorista contenida en los posdespachos diarios del 2020.

- Fase 4: a partir de los resultados obtenidos en la fase 3, se llevó a cabo una clasificación según el tipo de tecnología de los generadores que marcaron el nuevo precio *spot*, se realizó una distribución proporcional para determinar la tecnología que lo establece predominantemente según cada mes del año.

- Fase 5: con los datos y resultados obtenidos se trabajó la fase 5, la cual consistió en la redacción del informe final a partir de las fases previas.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación es una sistematización del establecimiento del precio de oportunidad de la energía del mercado eléctrico de Guatemala, se busca explicar el comportamiento del POE a partir de toda la demanda de energía que abastece el sistema eléctrico del país.

El tema abordado es valioso dado que en actualidad se considera únicamente la demanda nacional y la demanda en contratos firmes para establecer el precio marginal de corto plazo, esto provoca que la teoría marginalista no se aplique en su totalidad ya que el último generador despachado no necesariamente marca el precio de oportunidad de la energía.

El presente trabajo de investigación es beneficioso para los participantes del mercado mayorista, ya que el POE aumenta al no realizar una separación de demandas, esto implica desarrollo económico en los agentes generadores, logrando la actualización constante del parque generador del país, garantizando el suministro de energía para todos los usuarios guatemaltecos.

La investigación es de tipo no experimental, ya que la información y datos utilizados es información existente y pública del AMM y del EOR la cual no sufrió modificaciones. El estudio es de tipo mixto dado que se analizaron las características técnicas y físicas de las variables en estudio. El alcance de la investigación es descriptivo ya que se determinó el comportamiento del POE al considerar la totalidad de la demanda de exportación.

Se determinó que el precio de oportunidad de la energía experimenta un aumento al considerar la demanda de exportación no firme, así mismo, se identificó el impacto de la pandemia del COVID-19 tanto en la demanda de exportación como en el precio *spot* a partir del mes de abril del 2020, estos impactos fueron causados principalmente por reducciones en la demanda de energía por toques de queda y por la caída de precios de los combustibles fósiles.

El esquema de la solución para el presente trabajo de investigación se llevó a cabo mediante fases, inicialmente la fase uno consistió en una revisión documental de la normativa vigente en el subsector eléctrico, en la fase dos se cuantificó el volumen mensual de la demanda de exportación no firme que abastece el sistema eléctrico de Guatemala, en la fase tres se calculó el POE promedio mensual considerando la totalidad de la demanda de energía y por último se trabajó en la fase cuatro donde se identificó el tipo de tecnología que predominantemente establece el nuevo POE en cada mes.

El estudio realizado fue factible, ya que se contó con los recursos informáticos, tecnológicos, económicos y humanos para el desarrollo de las distintas fases del trabajo de investigación.

El informe final de investigación está conformado por un primer capítulo denominado marco referencial conformado por los antecedentes y estudios relacionados al tema de investigación.

El segundo capítulo es el marco teórico donde se definieron los conceptos y la normativa vigente del mercado eléctrico.

El tercer capítulo presenta los resultados obtenidos en base a los objetivos planteados, identificando el porcentaje que representan las transacciones

internacionales no firmes dentro de la demanda que abastece el SNI, además se encontró el nuevo POE y se identificó la tecnología que lo establece predominantemente en cada mes.

Por último, en el cuarto capítulo se realizó la discusión de los resultados encontrados los cuales son la base para las conclusiones finales.

1. MARCO REFERENCIAL

Las nuevas tecnologías para la generación de electricidad han experimentado un gran desarrollo en los últimos años, sobre todo las tecnologías renovables no convencionales, sin embargo, la gran cantidad de este tipo de generadores tiene impactos técnicos en el control de generación o en las reservas rodantes de los países, además causan un impacto importante en los precios de la energía eléctrica. Debido a esto, el autor realiza un análisis con distintos grados de penetración de energías renovables en los sistemas eléctricos, evaluando diferentes escenarios en el esquema de fijación de precios.

El tratamiento de la demanda de energía como demanda completamente inelástica a los precios, por lo que no influye en el comportamiento de los precios marginales, este concepto ha sido aplicado en el presente trabajo de investigación, dando un tratamiento inelástico a la demanda registrada durante el 2020 en contratos no firmes físicos flexibles y en las transacciones de oportunidad.

En el trabajo de investigación elaborado por Lutín (2020) se analizaron escenarios de pérdida de generación del parque generador instalado en Guatemala, a partir de estos escenarios identificó la variación en el precio de oportunidad de la energía, estas evaluaciones permitieron identificar que el precio *spot* experimenta una desestabilización y un incremento respecto al precio *spot* en condiciones normales, además, la pérdida de generación provoca un aumento en la cantidad de importaciones de energía y en el riesgo de abastecimiento de la demanda.

Los resultados del trabajo mencionado anteriormente se presentan por medio de tablas que permiten visualizar ambos precios *spot*, así mismo se observa la variación en \$/MWh y la variación porcentual entre ellos. La forma de comparar dos precios *spot* fue de aporte para la presentación de resultados de este trabajo de investigación, ya que en la presente tesis también se realiza una comparación entre dos precios marginales.

El Administrador del Mercado Mayorista (2022) contrató una empresa consultora con amplia experiencia en mercados eléctricos para la elaboración de un estudio denominado tratamiento de las exportaciones de oportunidad y POE, en dicho estudio la consultoría indicó los principales impactos que conlleva no considerar toda la demanda de exportación en cálculo del precio *spot* de Guatemala, entre estos se puede mencionar: el régimen actual no incentiva el desarrollo de proyectos que podrían exportar, además, la exportaciones que marcan el POE pueden generar renta para los generadores infra marginales lo cual puede ayudar a mantener adecuadas las instalaciones de los generadores y se pueden desarrollar nuevas.

El estudio realizado por la empresa consultora sirvió de referencia para validar los resultados obtenidos en la presente tesis, ya que básicamente los consultores realizaron el mismo análisis del crecimiento del precio de oportunidad de la energía al considerar la demanda de exportación no firme para el año 2019, obteniendo un crecimiento porcentual anual del 26.5 %, teniendo su mayor efecto en los meses de marzo y abril.

Jara y Luyo (2021) identifican las oportunidades comerciales que brindan las interconexiones eléctricas entre países, por ejemplo, en un escenario donde dos países están interconectados eléctricamente, el precio de los costos marginales de operación del país exportador debe experimentar un aumento, ya

que la demanda de exportación puede llegar a representar una parte importante de la demanda total abastecida.

Lo expuesto anteriormente ha sido la base para el tratamiento de la demanda del presente estudio, dado que Guatemala está interconectado eléctricamente con otros países, la demanda que se abastece por dichas interconexiones debe representar un aumento en el precio marginal de mercado nacional, por esta razón se calculó un nuevo precio de oportunidad de la energía sin realizar separación entre las demandas nacionales y extranjeras.

El Administrador del Mercado Mayorista (2022) realizó un estudio sobre el impacto que provoca la consideración de la demanda de exportación no firme en el precio de oportunidad de la energía, el análisis lo realizó en base al parque generador disponible en cada periodo del 2021. Adicionalmente el AMM enfatiza que este tipo de escenario conlleva a que algunas de las transacciones de exportación posiblemente no se hubiesen realizado debido a un precio *spot* más elevado en comparación al precio con el que realmente se registró dicha demanda.

Los resultados obtenidos por el AMM con respecto al crecimiento del precio de oportunidad de la energía para el año 2021, han servido como referencia y comparación con los resultados de la presente tesis, además, se ha considerado que la mejor forma de tratar las transacciones de exportación no firme es considerarlas como una demanda totalmente inelástica.

Ramírez (2018) realizó una evaluación técnica y económica sobre los efectos que causan las energías renovables no convencionales en el sistema nacional interconectado de Guatemala, en el estudio realizó una comparación en

el costo total de operación, adicionalmente encontró el precio de oportunidad de la energía influenciado por la generación renovable no convencional.

La forma de presentar resultados por parte de Ramírez ha sido empleada en el presente trabajo, como por ejemplo la comparación entre precios *spot* por medio de tablas y gráficos de líneas paralelas donde se visualiza la diferencia entre los Precios de Oportunidad de la Energía.

Fuentes (2014) establece que en el modelo marginalista la energía generada en cada hora debe valorizarse al costo marginal que se establece para cada intervalo de tiempo, el costo marginal o precio *spot* de cada hora está en función de la demanda total registrada (incluyendo exportaciones), centrales generadoras disponibles, tecnología y costos variables de generación.

El anterior antecedente, ha sido de utilidad para el tratamiento de la demanda registrada en transacciones de oportunidad y en contratos no firmes físicos flexibles, ya que, según el anterior estudio, el precio marginal de corto plazo se debe establecer en base a todas las demandas abastecidas sin excepción, bajo este principio, se calculó un nuevo precio *spot* a partir de toda la demanda nacional y de exportación.

Portela y Utray (2009) mencionan la importancia de que un mercado eléctrico funcione correctamente y sin fallos para evitar que sus participantes (generadores, distribuidores, transportistas y consumidores) obtengan ingresos inferiores a sus costos de inversión. Un mercado sin fallas evita riesgos de sostenibilidad y busca maximizar los beneficios de todos sus involucrados, por esta razón es necesario identificar errores de mercado, por ejemplo, no considerar la totalidad de la demanda abastecida para el establecimiento de precio marginal.

El estudio mencionado anteriormente, ha sido de utilidad para identificar que la metodología actual para el cálculo del precio de oportunidad de la energía provoca que los agentes del mercado obtengan ingresos inferiores a los esperados por los inversionistas privados, esto es consecuencia de no aplicar la teoría marginalista en su totalidad, por esta razón se abordó el tema de investigación tomando la demanda total registrada en cada hora del 2020.

Molina, Martínez y Rudnick (2005) comentan que el abastecimiento de electricidad posee distintas variables de carácter técnico, económico y ambiental, siendo necesario mantener un progreso constante en los mercados eléctricos para las crecientes demandas, por lo que es fundamental que los generadores sean remunerados de forma correcta para que las inversiones privadas no desaparezcan.

El anterior estudio fue de utilidad para tomar en cuenta tanto las características técnicas como las económicas de los agentes generadores de Guatemala, entre las características técnicas se puede mencionar el tipo de tecnología y el tiempo de respuesta para la toma de carga de los agentes generadores, mientras que entre las características económicas se encuentra el lugar de instalación de la planta de generación, ya que esto se verá reflejado en sus factores de pérdidas nodales.

Escribano (2014) plantea que, para proveer de seguridad energética a un país, es indispensable el papel de las fuentes renovables de energía, además, los precios de los mercados de corto plazo deben reflejar seguridad para inversionistas privados, garantizando que nuevas plantas de generación puedan ser pagadas a través de precios competitivos y justos tanto para la oferta como para la demanda.

El anterior antecedente sirvió para identificar que un precio de oportunidad de la energía bajo, desincentiva inversiones privadas, además, las plantas existentes pueden sufrir impactos al momento del pago de financiamiento bancario, por esta razón, se realizó el estudio bajo la premisa de que en un mercado deben existir precios justos que reflejen la realidad de dicho mercado.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Subsector eléctrico de Guatemala

El Ministerio de Energía y Minas (2017) indica que el sector energético de Guatemala está dividido en el subsector eléctrico y en el subsector de hidrocarburos. El subsector eléctrico tiene como objetivo el abastecimiento de toda la demanda del país, manteniendo altos estándares de seguridad y calidad.

La base para el desarrollo del subsector eléctrico de Guatemala se encuentra en la política energética elaborada por el MEM, en ella se definen los objetivos a mediano y largo plazo.

2.1.1. Marco regulatorio

El marco regulatorio del subsector eléctrico detalla las obligaciones y funciones de las entidades encargadas de su correcto funcionamiento. Asimismo, establece los lineamientos a seguir en las actividades desarrolladas dentro del mercado mayorista.

El AMM menciona que algunos de los instrumentos fundamentales del marco regulatorio son: la Ley General de Electricidad y su reglamento, el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, acuerdo número AG-110-2002, acuerdo gubernativo No. 244-2033, normas de coordinación comercial y operativa (Administrador del Mercado Mayorista, 2021).

2.1.1.1. Ley General de Electricidad

El Administrador del Mercado Mayorista (2021) indica que en 1996 fue publicado el Decreto 93-96, Ley General de Electricidad, del Congreso de la República, este instrumento representó un cambio en las actividades desarrolladas en el subsector eléctrico.

A partir de la promulgación de la LGE se crearon instituciones para coordinar y regular las actividades que se desarrollan dentro del mercado mayorista. Esto dio lugar a que inversionistas extranjeros realizarán desembolsos destinados al subsector eléctrico gracias a un marco regulatorio sólido.

2.1.1.2. Reglamento de la Ley General de Electricidad

El Reglamento de la Ley General de Electricidad proporciona detalles sobre los lineamientos, métodos y procedimientos para la determinación de tarifas, cuotas, estudios y otras actividades desarrolladas en el subsector.

En el Acuerdo Gubernativo Número 256-97 (1997) en su apartado de considerandos se menciona la necesidad del desarrollo de normas para la adecuada aplicación de la LGE, esto da impulso a la elaboración de normas tanto comerciales como técnicas.

2.1.1.3. Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista

El Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista se creó el 25 de mayo de 1998. Este instrumento establece las funciones y actividades a realizar

por el AMM. Los títulos dos y tres dentro del RAMM detallan las responsabilidades y funciones del Administrador del Mercado Mayorista.

2.1.1.4. Normas de coordinación

En el Acuerdo Gubernativo Número 256-97 (1997) en su artículo de definiciones indica que el AMM es el encargado de elaborar normas para coordinar las actividades tanto comerciales como operativas. Este mandato tiene la finalidad de asegurar un suministro de electricidad confiable y consistente al garantizar la coordinación continua entre todas las partes involucradas.

2.1.2. Estructura institucional

El mercado eléctrico guatemalteco es supervisado y coordinado por instituciones públicas y privadas, dentro de la esfera pública está el Ministerio de Energía y Minas y la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, mientras que el operador del sistema y del mercado es una entidad privada sin fines de lucro denominado Administrador del Mercado Mayorista. Estas instituciones interaccionan entre sí formulando normas y velando por el desarrollo del subsector eléctrico del país (Administrador del Mercado Mayorista, 2020).

Figura 1. **Estructura institucional**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

2.1.2.1. Ente rector

La Ley General de Electricidad expresa que el Ministerio de Energía y Minas es el ente que tiene a su cargo elaborar la política energética del país, además de crear planes de expansión de la generación y el transporte de electricidad. Adicionalmente, el Ministerio tiene a cargo velar por el cumplimiento de la LGE y el RLGE, esto de acuerdo en lo citado en el artículo 3 (Acuerdo Gubernativo Número 256-97, 1997).

2.1.2.2. Ente regulador

Con la emisión de la LGE se creó la Comisión Nacional de Energía Eléctrica teniendo entre sus actividades más destacadas la regulación del mercado eléctrico nacional, actuar de árbitro ante controversias que existan entre distintos agentes, además, es responsable de emitir normas técnicas relevantes en el subsector eléctrico (Acuerdo Gubernativo Número 256-97, 1997).

2.1.2.3. Ente operador

La operación y administración del mercado mayorista están a cargo del Administrador del Mercado Mayorista. Tiene a su cargo abastecer la demanda de electricidad de Guatemala al mínimo costo operativo, además, es el encargado de coordinar el despacho de las centrales generadoras, así como la operación de interconexiones eléctricas con otros mercados. El AMM también es el encargado de establecer los precios de mercado para la venta y compra de potencia y energía a corto plazo (Acuerdo Gubernativo Número 256-97, 1997).

2.1.3. Mercado Mayorista

Según lo mencionado por el Administrador del Mercado Mayorista (2020) existe un medio donde los participantes realizan compras y ventas de los productos del mercado (energía y potencia), a esto se le denomina mercado mayorista.

2.1.3.1. Precio de oportunidad de la energía

La norma de coordinación comercial número cuatro emitida por el Administrador del Mercado Mayorista (2000) estipula el concepto del precio de oportunidad de la energía.

Es el valor del costo marginal de corto plazo de la energía en cada hora, definido como el costo en que incurre el Sistema Eléctrico para suministrar un kilovatio-hora (kWh) adicional de energía a un determinado nivel de demanda de potencia y considerando el parque de generación y transmisión efectivamente disponible.

El Costo marginal de corto plazo corresponde al máximo costo variable de las unidades generadoras, en el nodo de referencia, que fueron convocadas por el despacho económico y resultaron operando en función de su costo variable de acuerdo al resultado del despacho diario, respetando los requerimientos de Servicios Complementarios. (pp. 1-2)

La misma norma determina que la unidad marginal es la de mayor costo variable siempre que genere por lo menos 15 minutos en un periodo determinado, si esto último no se cumpliera, la generación será asignada como generación forzada.

Los generadores sincronizados en el SNI pueden operar en distintos regímenes de operación: régimen de transición, régimen de prueba, régimen forzado o régimen permanente. Los generadores que se encuentren en régimen de transición, prueba o forzado no podrán establecer el POE (Administrador del Mercado Mayorista, 2000).

2.1.3.2. Participantes del mercado mayorista

Son participantes del mercado eléctrico todos aquellos que realizan operaciones comerciales en el mercado mayorista y que superan los límites establecidos en el RLGE. Los participantes del mercado mayorista son los generadores, distribuidores, comercializadores, transportistas y grandes usuarios de electricidad (Acuerdo Gubernativo Número 256-97, 1997).

Figura 2. **Participantes del mercado mayorista**

A G E N T E S	GENERADOR	> 5 MW DE PMax
	DISTRIBUIDOR	≥ 15,000 usuarios regulados
	TRANSPORTISTAS	≥ 10 MW de capacidad
	COMERCIALIZADORES	≥ 5 MW de bloques de energía
	GRANDES USUARIOS	> 100 kW de demanda
	GDR	< 5 MW de PMax, Renovables, en redes de dist.

Fuente: Administrador del Mercado Mayorista (2020). *Mercado eléctrico de Guatemala*.

2.1.3.2.1. **Generador**

Según la Ley General de Electricidad (1996), un generador eléctrico es la persona o entidad que posea una central generadora cuya potencia máxima debe superar los cinco megavatios.

Hasta julio del 2022 se encontraban sesenta y tres agentes generadores habilitados en el mercado mayorista (Administrador del Mercado Mayorista, 2022).

2.1.3.2.2. Transportista

En el trabajo de investigación realizado por Rojas (2016) se indica que un agente transportista es aquel cuya actividad consiste en transportar la energía eléctrica desde los lugares donde se produce hasta los centros de consumo.

La red de transporte del sistema nacional interconectado opera en los siguientes niveles de voltaje: 69 KV, 138 KV, 230 KV y 400 KV (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2015)

En la publicación del Administrador del Mercado Mayorista (2022) se indica que actualmente participan siete agentes transportistas en el mercado mayorista.

Entre los límites que estipula el Ley General de Electricidad (1996) para habilitarse como agente transportista es tener la capacidad de transportar por lo menos 10 megavatios.

2.1.3.2.3. Distribuidor

Un agente distribuidor es aquel que posee líneas, subestaciones y redes de distribución con un nivel de voltaje como máximo de 34.5 KV. Actualmente existen tres agentes distribuidores (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2015).

El RLGE indica que un agente distribuidor debe tener conectados a sus redes de distribución a quince mil o más usuarios regulados (Ley General de Electricidad, 1996).

2.1.3.2.4. Comercializador

En el capítulo tres en el apartado de definiciones y artículo 6 del Acuerdo Gubernativo Número 256-97 (1997) se establece que la entidad que ejerce como intermediador en la compraventa de energía y potencia y no tiene intervención en actividades de generación, transporte, distribución o consumo es denominado como comercializador.

Actualmente existen treinta agentes comercializadores participando en el mercado eléctrico mayorista (Administrador del Mercado Mayorista, 2022)

2.1.3.2.5. Grandes usuarios

Un gran usuario es aquel cuya demanda de potencia supera los 100 KW y que está inscrito en el mercado mayorista. Esta facultad permite que los grandes usuarios negocien el precio de la potencia y energía directamente con los generadores, comercializadores o distribuidores. Los grandes usuarios pueden ejercer bajo la figura de representados (un comercializador es responsable de sus compromisos) o como participante (participación directa en el mercado mayorista) (Acuerdo Gubernativo Número 256-97, 1997).

Según el Administrador del Mercado Mayorista (2022) hasta julio del 2022 existen cinco grandes usuarios participantes en el mercado mayorista.

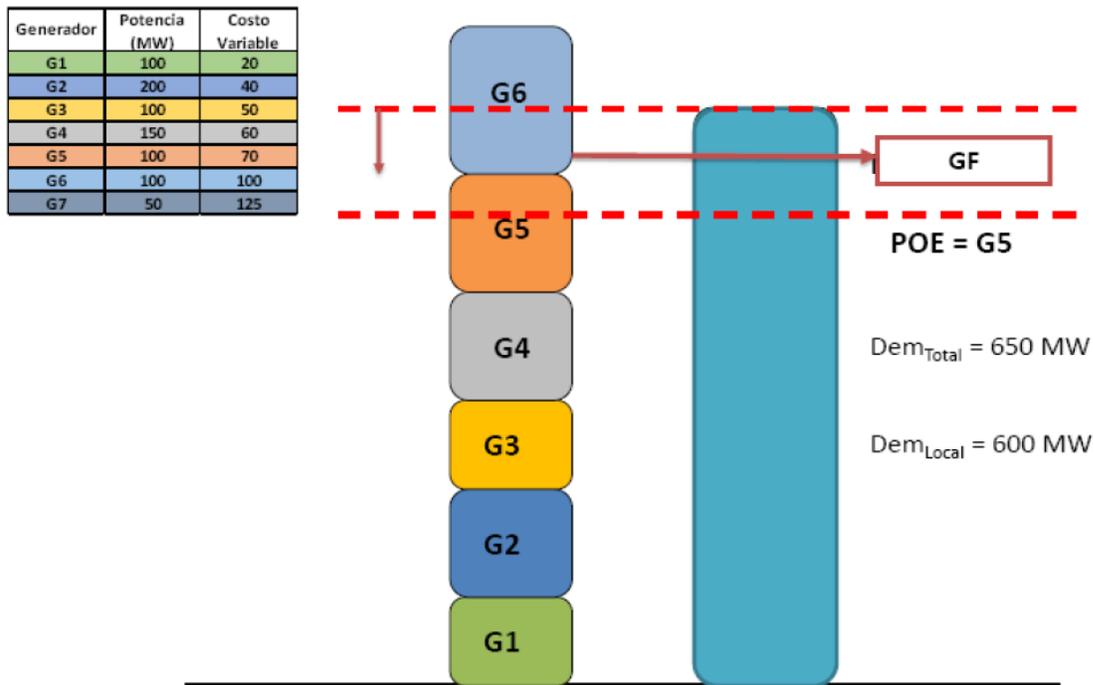
2.1.3.3. Generación forzada

En la norma de coordinación comercial número 5 se define la generación forzada como la energía producida por un generador por causas distintas a las de su CVg, además, cuando un generador resulta con GF su costo de operación

es mayor al POE de su nodo, por esta razón la unidad no será incluida en el cálculo del precio de oportunidad de la energía (Administrador del Mercado Mayorista, 2001).

Existen distintos tipos de forzamiento entre los que están: por requerimiento del AMM, seguridad y desempeño, por criterios de calidad, por falta de reserva de potencia reactiva o inadecuado nivel de tensión, restricciones de arranque y parada, por requerimiento propio de los agentes generadores del MM, por importación y exportación de oportunidad, entre otras (Administrador del Mercado Mayorista, 2001).

Figura 3. **Despacho económico y generación forzada del mercado mayorista de Guatemala**



Fuente: Administrador del Mercado Mayorista. (2020). *Mercado eléctrico de Guatemala*.

2.1.4. Exportación de energía eléctrica de Guatemala hacia otros mercados

Guatemala exportó una cantidad significativa de energía al resto de Centroamérica y México entre 2016 y 2019 teniendo un crecimiento promedio del 20.2 %. De 2019 a 2020, el país experimentó una disminución del 46.76 % en las exportaciones de energía debido a la pandemia del COVID-19. En realidad, los años de mayor exportación de energía de Guatemala fueron 2017 y 2018. Estos años la energía de exportación representó 19.42 % y 16.90 % del total de la demanda registrada en el SNI, más que cualquier otro año en la historia del sistema (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2021).

La oportunidad de exportación para los años indicados se dio gracias a una reestructuración del subsector eléctrico mexicano realizada en el 2015, crecimiento del Mercado Eléctrico Regional e instalación de nuevas centrales de generación en Guatemala, estos factores ayudaron a que Guatemala se posicionara como el principal exportador de la región (Mijangos, 2019).

En la siguiente tabla se muestran el volumen y porcentaje de las transacciones internacionales de Guatemala del 2016 al 2020.

Tabla II. **Transacciones internacionales de Guatemala**

Datos generales	2016	2017	2018	2019	2020
Consumo de Energía (Consumida total + exportada total) (GWh)	11,167.50	11,876.17	12,875.35	12,847.80	12,204.69

Continuación de la tabla II.

Datos generales	2016	2017	2018	2019	2020
Energía consumida localmente total	9,832.70	10,018.41	10,374.97	10,676.46	10,579.73
Energía exportada total	1,334.80	1,857.76	2,500.38	2,171.35	1,156.03
Proporción de la Exportación sobre la energía consumida total (%)	11.95 %	15.64 %	19.42 %	16.90 %	9.47 %
Producción de la Energía (Producida SIN + importada total) (GWh)	11,624.83	12,381.28	13,348.12	13,342.59	12,206.63
Energía Producida SIN	10,877.91	11,489.90	12,522.39	12,228.23	11,122.03
Energía importada total	746.92	891.38	825.73	1,114.36	1,084.60
Proporción de la Importación sobre la energía producida total (%)	6.43 %	7.20 %	6.19 %	8.35 %	8.89 %

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

2.1.4.1. Contratos firmes

En el reglamento del mercado eléctrico regional se establece que los contratos firmes tienen la característica obligatoria de tener asociado un derecho de transmisión (Comisión Regional de Interconexión Eléctrica, 2010).

Una de las características más importantes de los CF es que una de las partes involucradas debe ser el titular del derecho de transmisión entre los

respectivos nodos de retiro e inyección. Además, todo contrato firme debe ser registrado por ambas partes ante el EOR mediante el operador del sistema y del mercado de cada país.

2.1.4.2. Contratos no firmes físicos flexibles

Los contratos no firmes físicos flexibles dentro del mercado eléctrico regional pueden ser flexibilizados mediante ofertas al MOR en alguno de los nodos involucrados, estas pueden ser por un valor igual o menor a lo comprometido de cada periodo. Un CNFFF también tiene asociada una oferta de pago máximo dispuesto a cancelar como costo variable de transmisión. La oferta de CVT consiste en declarar el máximo cargo a pagar por la diferencia de los precios nodales que están involucrados (Comisión Regional de Interconexión Eléctrica, 2010).

2.1.4.3. Ofertas al Mercado de Oportunidad Regional

Los operadores de los mercados de los países miembros del MER informan al EOR las ofertas diarias que declara cada agente. Este tipo de transacciones en el mercado de oportunidad regional están basadas en la operación en tiempo real y en el predespacho regional, relacionando las ofertas de inyección con las de retiro.

2.2. Demanda de electricidad para Guatemala

La demanda de electricidad de Guatemala se divide en dos categorías: demanda de potencia y en demanda de energía. La demanda de energía se calcula teniendo en cuenta los consumos en el SNI, exportaciones, pérdidas,

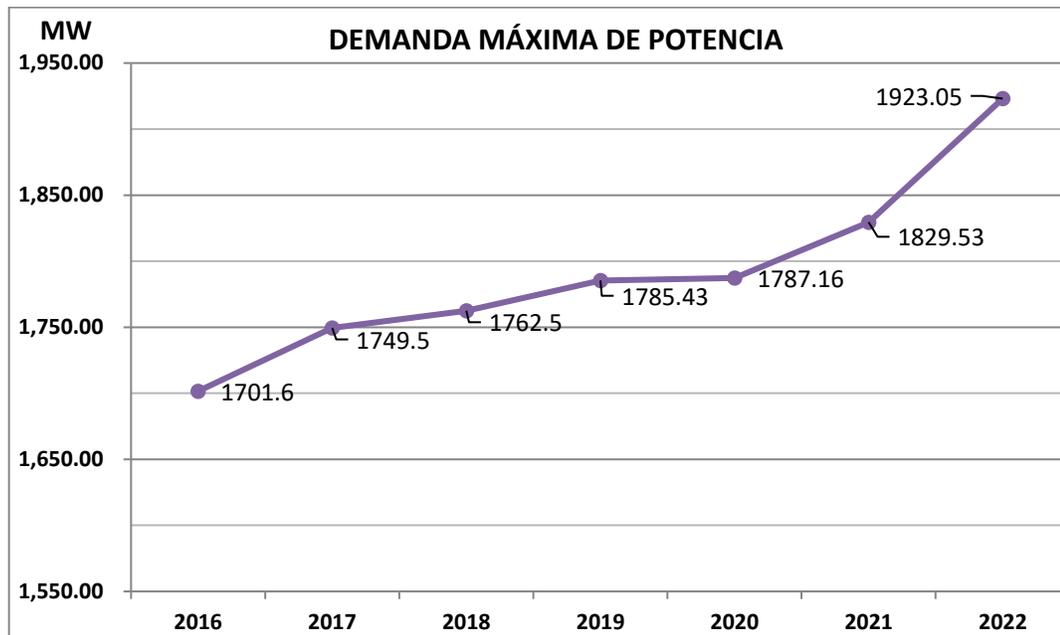
desviaciones y las energías inadvertidas de exportación. Para el 2020 la demanda total de energía alcanzó los 12,206.63 MWh, mientras que la demanda máxima de potencia para el mismo año se registró el miércoles 16 de noviembre en 1,787.16 MW (Administrador del Mercado Mayorista, 2020).

2.2.1. Demanda máxima histórica de potencia

Históricamente la demanda máxima de potencia que se registra en el SNI tiene un crecimiento anual. En 2020, la máxima demanda de potencia registrada fue de 1.787,16 MW. Sin embargo, el lunes 12 de abril del año siguiente se registró una demanda máxima de potencia de 1829,53 MW, esto marcó un crecimiento del 2,37 % (Administrador del Mercado Mayorista, 2021).

En el informe estadístico preliminar del segundo trimestre del 2022 publicado por el Administrador del Mercado Mayorista (2022) se indica que la demanda máxima de potencia es de 1,923.05 MW registrada el miércoles 6 de abril, representando un crecimiento de 5.11 % respecto al 2021 y de 7.60 % respecto al 2020.

Figura 4. Demandas máximas históricas de potencia

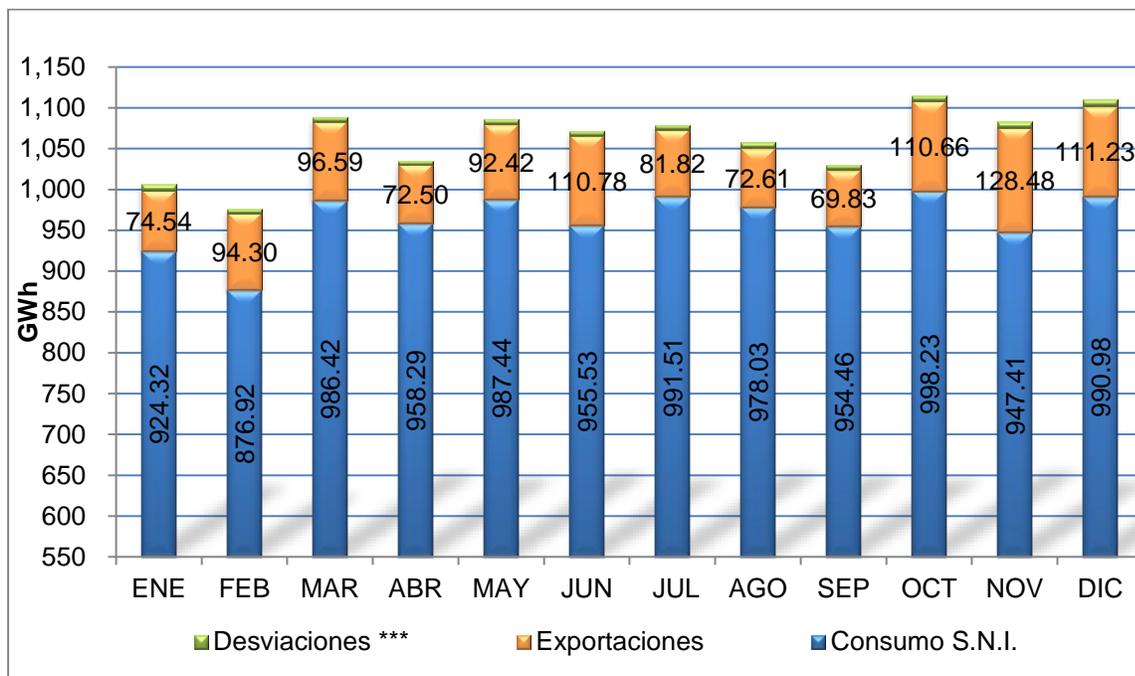


Fuente: Administrador del Mercado Mayorista (2022). *Mercado eléctrico de Guatemala*.

2.2.2. Demanda de exportación

La demanda de exportación total registrada en el año 2020 contempla la energía en transacciones hacia el mercado eléctrico regional, mercado de oportunidad regional y el mercado de México, la energía exportada total asciende a 5,463.7 GWh. (Administrador del Mercado Mayorista, 2020).

Figura 5. Consumo y exportación de energía



Fuente: Administrador del Mercado Mayorista (2020). *Informe estadístico 2020*.

2.2.2.1. Demanda de exportación del MER

La demanda de exportación hacia el Mercado Eléctrico Regional contiene la exportación realizada a través de contratos firmes y de contratos no firmes físicos flexibles, teniendo un volumen total para el 2020 de 1,030.00 GWh, mientras que para el 2021 alcanzó los 1,082.89 GWh, representando un crecimiento de 5.13 % (Administrador del Mercado Mayorista, 2021).

2.2.2.2. Demanda de exportación del MOR

En la demanda de exportación hacia el MOR se contabilizan las exportaciones de oportunidad, siendo 4,400.1 GWh para el 2020 y 4,136.32 GWh

para el 2021, lo que representa una disminución del 5.99 % (Administrador del Mercado Mayorista, 2021).

2.2.2.3. Demanda de exportación de México

En cuanto a la demanda de exportación hacia México, esta corresponde a ofertas de oportunidad, el total de energía exportada con destino mexicano durante el 2020 fue de 33.49 GWh, mientras que para el 2021 fue de 32.87 GWh, lo que representa una disminución del 1.85 % (Administrador del Mercado Mayorista, 2021).

2.3. Teoría marginalista

Un análisis marginal económico, corresponde al estudio de las variaciones en el margen que resultan de pequeños cambios en la actividad que se esté realizando, además, se debe comparar el beneficio de realizar un poco más de alguna actividad con el costo que esto conlleva. Al beneficio de hacer un poco más de cierta actividad se le conoce como ingreso marginal y al costo de realizar un poco más de cierta actividad se le llama costo marginal.

2.3.1. Mercados eléctricos marginalistas

Según lo establece Sancha (2012) el punto en que se equilibra la demanda y la generación se da en el momento que el costo marginal de la oferta iguala el costo marginal de la demanda. En cuanto a la generación, la consideración de costos variables asegura que los agentes generadores que tengan menor costo de operación sean los primeros en ser despachados seguidamente de los que poseen mayor costo variable de generación. El costo de la última central

generadora convocada iguala la utilidad marginal de la última demanda abastecida.

En base a lo anterior Sancha (2012) establece:

En el punto de corte, el coste marginal del último generador conectado es igual a la utilidad marginal de la última demanda satisfecha. Intuitivamente puede verse que el óptimo se alcanza cuando 1 MWh adicional de energía producida supondría para el sistema un coste mayor que la utilidad obtenida por ese MWh adicional de demanda. Dicho de otra forma, el óptimo se alcanza cuando 1 MWh menos de energía producida supondría para el sistema un ahorro de coste inferior a la utilidad pérdida por ese MWh menos de demanda. (p.42)

En los costos de un generador eléctrico pueden considerarse los costos fijos que están relacionados a la inversión o el pago del personal, es decir costos en los que incurre cada central, aunque no esté generando. Además, deben considerarse los costos variables que dependen de la cantidad de electricidad generada.

Los generadores con costos variables menores al precio marginal deben recibir el precio marginal, dando como resultado que los generadores con mayores costos tengan menores utilidades.

En cuanto a nuevas inversiones de centrales de generación, lo adecuado es que un incremento marginal en la demanda debe igualarse con una inversión marginal a largo plazo.

Este modelo acarrea una preocupación para los agentes generadores que son convocados únicamente en periodos de máxima demanda del sistema, ya que en el caso que costo marginal sea establecido por estos generadores, únicamente cubrirán sus costos de generación y no sus costos fijos (Sancho, 2012).

2.3.1.1. Costos variables de generación

Según lo establece Lozano (2013) los costos variables de generación pueden dividirse en el costo variable combustible y en el costo variable no combustible. En cuanto al costo variable de combustible, este se refiere al producto entre el uso específico de combustible (unidades de combustible para producir un MWh) y el costo unitario. Mientras que el costo variable no combustible considera los costos por operación y mantenimiento, pudiendo encontrar el costo de lubricantes.

2.3.1.2. Orden de mérito

El orden de mérito se refiere a la secuencia en la que son ordenadas las centrales de generación para ser convocadas a generar. Este orden se basa en los costos variables de generación más bajos. El orden de mérito es independiente de los costos fijos asociados a los diferentes tipos de tecnologías de generación.

En base al orden de mérito los primeros generadores eléctricos en ser despachados son los que poseen los precios más bajos, posteriormente se agregan centrales con costos variables más altos hasta lograr satisfacer la demanda de energía.

A continuación, se muestra una fracción de la lista de mérito para los periodos de demanda mínima publicada por el Administrador del Mercado Mayorista para la operación del lunes 8 de agosto del 2022.

Tabla III. **Lista de mérito del mercado mayorista de Guatemala**

lunes, 8 de agosto de 2022			
Demanda mínima			
Nemo	Planta generadora	Potencia disponible	Costo en US\$/MWH
MAG-B4	Magdalena Bloque 4	0.000	0.64
ZUN-G	Orzunil	17.432	1.05
ORT-G	Ortitlan	15.875	1.07
HXO-H	Hidroeléctrica Xolhuitz	2.194	1.34
LCU-E	Las Cumbres	30.583	1.53
HCV-H	Hidroeléctrica Cerro Vivo	2.051	1.60
SNT-E1	San Antonio el Sitio	51.262	1.60
HIX-H	Hidroeléctrica Ixtalito	1.568	1.86
VBL-E	Viento Blanco	22.427	1.93
HRU-F1	Horus 1	48.544	2.02
HRU-F2	Horus 2	29.126	2.05
HHS-H	Hidroeléctrica Hidropower Sdmm	2.022	2.36
OX2-H	Oxec li	58.255	3.90
CHX-H	Chixoy	278.230	4.39
BVT-B	Biogás del Vertedero el Trébol	0.000	5.65
HMA-H	Hidroeléctrica Maxanal	2.004	5.89
HCR-H	Hidroeléctrica Coralito	1.883	5.94
RAA-H	Raaxha	4.876	6.54
HPT-H	Hidroeléctrica los Patos	4.627	6.79
OXE-H	Oxec	23.580	7.79
ARI-V	Arizona Vapor	1.888	8.09
PGO-B	Palo Gordo	0.000	8.13
MTZ-H	Matanzas	11.464	8.20
SIS-H	Hidroeléctrica San Isidro	3.321	8.26
CBN-H	El Cóbano	8.583	8.83
HSM-H	Hidroeléctrica el Salto Marinala	4.795	8.88

Continuación de la tabla III.

lunes, 8 de agosto de 2022			
Demanda mínima			
Nemo	Planta generadora	Potencia disponible	Costo en US\$/MWH
MTO-H	Montecristo	12.662	8.94
CAN-H	Hidrocanada	44.590	8.98
HST-H	Hidroeléctrica Santa Teresa	1.998	9.54
PVE-H	Poza Verde	9.593	9.72
LFU-H	Las Fuentes II	13.238	10.25
LVA-H	Las Vacas	40.018	10.25
PVI-H	Palo Viejo	85.623	10.28

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

2.4. Análisis estadístico

Un análisis estadístico es aquel en el que se recolectan, ordenan, presentan, analizan e interpretan datos de una investigación determinada. Estos análisis se realizan para poder concluir sobre estimaciones o comportamientos de las variables en análisis. Las variables analizadas pueden ser de tipo discreta, es decir que no toma valores intermedios, por ejemplo 1, 3, 5, o de tipo continua, la cual puede tener valores entre dos números enteros por ejemplo 1.74, 8.67, 5.2. (Salazar y Del Castillo, 2018).

2.4.1. Distribución de frecuencias

La distribución de frecuencias consiste en elaborar una tabla estadística donde se tabulan los datos obtenidos, este tipo de tablas permite establecer el tipo de comportamiento o la variabilidad que presentan dichos datos. Las distribuciones de frecuencias están compuestas por categorías excluyentes, es

decir, los elementos no pueden pertenecer a diferentes categorías (Salazar y Del Castillo, 2018).

2.4.1.1. Distribución de frecuencia para variables continuas

En el análisis de las variables continuas, inicialmente es necesario crear categorías mediante intervalos, en cada categoría deben agruparse los valores que pertenezcan a cada una de ellas (Salazar y Del Castillo, 2018).

Se describen los pasos a seguir para la elaboración de una tabla de frecuencias.

2.4.1.1.1. Rango

El rango de valores hace referencia a los valores que pueden tomar las observaciones de las variables en estudio, lo que implica la identificación del valor mínimo y máximo, el rango se obtiene de la resta entre ambos (Salazar y Del Castillo, 2018).

$$\text{Rango} = \text{máximo} - \text{mínimo} \quad (\text{Ecuación 1})$$

2.4.1.1.2. Número de categorías

Es necesaria la determinación de la cantidad de categorías con la que contará la distribución. La cantidad de categorías se determina a partir del número de observaciones del estudio (Salazar y Del Castillo, 2018).

$$\text{Número de categorías} = 1 + 3 \cdot 3^{\text{LOG}(n)} \quad (\text{Ecuación 2})$$

2.4.1.1.3. Amplitud

Se debe calcular la amplitud de cada intervalo, esta amplitud se obtiene a partir del rango y del número de categorías según la siguiente fórmula (Salazar y Del Castillo, 2018).

$$i = \text{Rango} / (\text{Número de categorías}) \quad (\text{Ecuación 3})$$

2.4.1.1.4. Límites de cada categoría

La determinación de los límites de las categorías lo describen Salazar y Del Castillo (2018):

Se establecen los límites de cada categoría, para esto se determina el límite inferior de la primera categoría, que puede ser igual o menor al valor mínimo de todo el estudio, a este valor se suma la amplitud del intervalo y se obtiene el límite inferior de la siguiente categoría y así sucesivamente sumamos la amplitud del intervalo a cada nuevo límite obtenido, hasta completar el número de categorías establecido. Los límites superiores de las categorías quedan determinados al establecer que serán los valores menores que el límite inferior de la categoría inmediata siguiente, esto permite que las categorías sean mutuamente excluyentes. (p. 27)

2.4.1.1.5. Determinación de las frecuencias

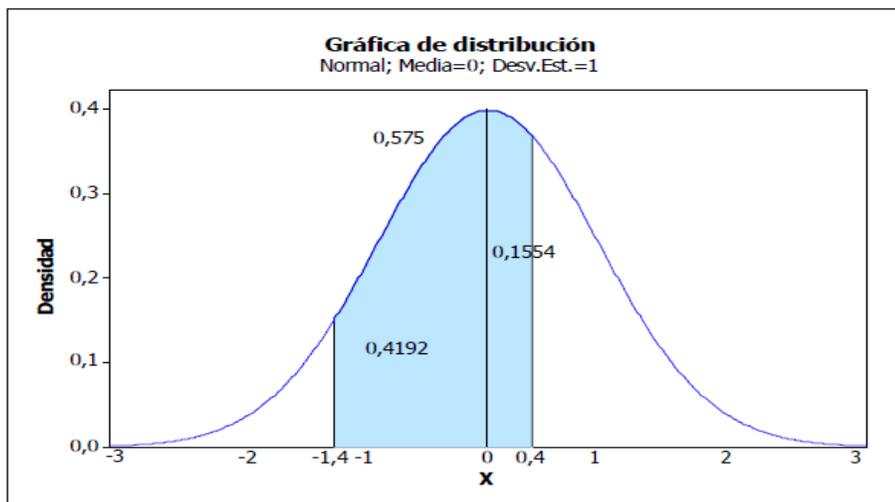
Para determinar las frecuencias deben cuantificarse la cantidad de elementos que pertenecen a cada categoría, la suma de todas las frecuencias

debe igualar la cantidad de los elementos observados (Salazar y Del Castillo, 2018).

2.4.2. Distribución normal

Entre las características que debe tener una distribución normal podemos mencionar: variable continua, la curva que representa la correlación es asintótica, el área bajo la curva es igual a uno, solamente tiene una moda, además la distribución normal tiene los parámetros de media aritmética y desviación estándar (Salazar y Del Castillo, 2018).

Figura 6. Ejemplo distribución normal



Fuente: Salazar y Del Castillo. (2018). *Fundamentos básicos de estadística*.

2.5. Lugar donde se realizará la investigación

El trabajo de investigación se realizará en el Mercado Mayorista de Electricidad de Guatemala.

2.6. Unidad de análisis

El trabajo de investigación tiene como unidad de análisis el precio de oportunidad de la energía.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con los objetivos propuestos se presentan los siguientes resultados.

Se tabularon datos de los 366 días del 2020 contenidos en los informes públicos del Administrador del Mercado Mayorista encargado de la operación y liquidación de las transacciones realizadas mercado eléctrico guatemalteco, además, se recolectaron los datos del Ente Operador Regional encargado de la operación y liquidación del Mercado Eléctrico Regional de América Central.

3.1. Objetivo 1: cuantificar el volumen mensual de la demanda de exportación no firme para el sistema eléctrico guatemalteco

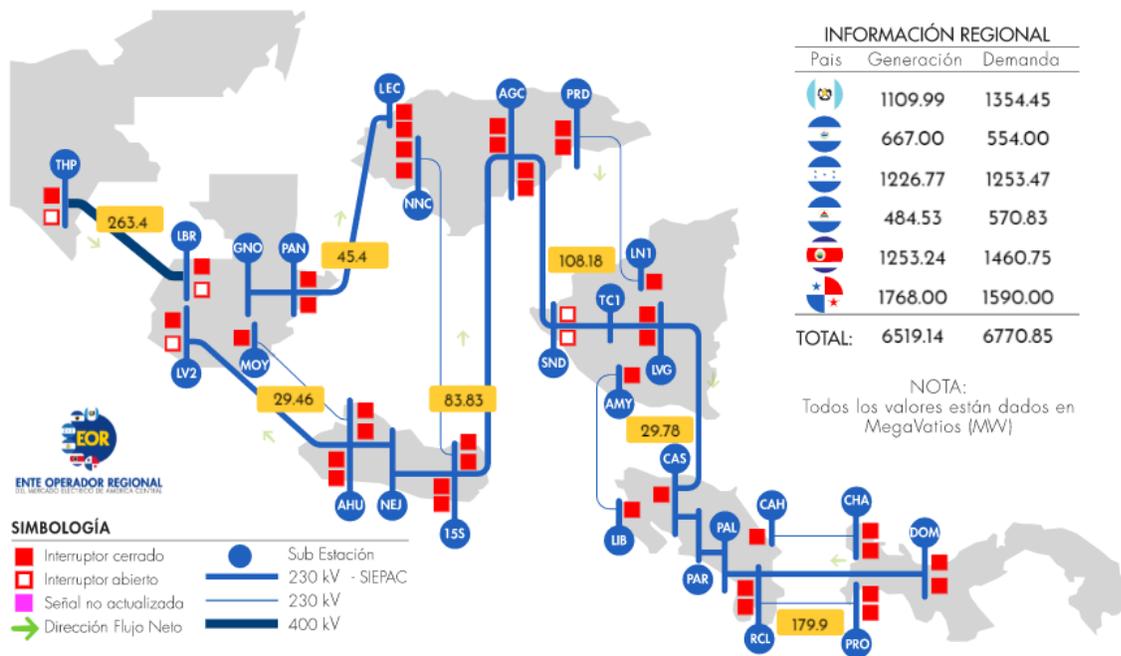
Se analizaron las transacciones de exportación de energía registradas durante el 2020 hacia los mercados eléctricos con que tiene relación Guatemala.

3.1.1. Análisis descriptivo de la información

La exportación de energía eléctrica se realiza con los países que Guatemala está interconectado eléctricamente, por esta razón la demanda de exportación, históricamente se ha registrado con destino hacia el Mercado Eléctrico Regional (Centroamérica) por medio los nodos La Vega II, Moyuta y Panaluya y hacia el Mercado Eléctrico de México mediante el nodo Los Brillantes.

En la siguiente imagen se observan las interconexiones eléctricas de Guatemala con los países vecinos.

Figura 7. Sistema eléctrico regional



Fuente: Ente Operador Regional. (2022). *Flujos de Potencia en Tiempo Real*. Consultado el 3 de julio de 2023. Recuperado de <https://www.enteoperador.org/>.

3.1.1.1. Transacciones de exportación

Inicialmente se procedió a cuantificar la cantidad de megavatios hora de exportación registrados según el tipo de transacción:

- Contratos firmes
- Contratos no firmes físico flexibles
- Transacciones de oportunidad

Tabla IV. **Transacciones de exportación hacia el MER**

MES-2020	Exportación al MER CF [MWh]	Exportación al MER CNFFF [MWh]	Exportación al MOR [MWh]	Total [MWh]
Enero	44,787	82,828	28,160	155,775
Febrero	30,053	85,951	31,363	147,368
Marzo	37,741	106,431	26,061	170,233
Abril	27,562	26,499	27,781	81,843
Mayo	18,103	13,581	4,078	35,762
Junio	29,348	19,317	2,885	51,550
Julio	23,247	25,012	3,577	51,836
Agosto	22,355	36,070	9,566	67,992
Septiembre	29,781	34,899	11,183	75,863
Octubre	38,802	40,634	11,358	90,794
Noviembre	22,386	26,793	9,695	58,874
Diciembre	30,818	36,884	8,609	76,312
Total	354,984	534,900	174,316	1,064,200

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

En cuanto a la exportación realizada hacia el Mercado Eléctrico de México, se cuantificó la energía registrada a través de transacciones de oportunidad.

Tabla V. **Transacciones de exportación hacia el mercado eléctrico mexicano**

Mes-2020	Exportación a México [MWh]
Enero	1,947
Febrero	6,514
Marzo	11,369
Abril	1,860
Mayo	53

Continuación de la tabla V.

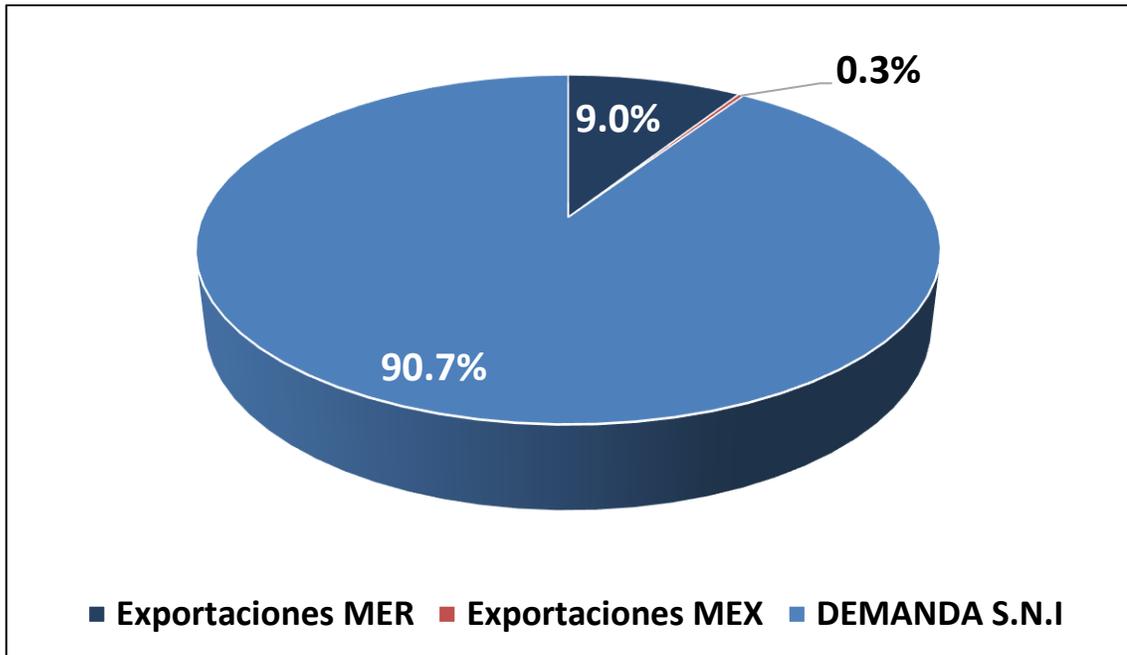
Mes-2020	Exportación a México [MWh]
Junio	189
Julio	21
Agosto	308
Septiembre	1,646
Octubre	1,706
Noviembre	5,352
Diciembre	2,795
Total	33,760

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Para cuantificar la cantidad de energía exportada de Guatemala hacia otros mercados, se identificaron las operaciones de exportación que se registraron en el MER y en el Mercado Eléctrico mexicano, las cuales pueden llevarse a cabo mediante contratos o a través de transacciones de oportunidad.

Paralelamente se cuantificó la demanda de energía registrada dentro de Guatemala durante todo el 2020, con esto se logró obtener el porcentaje que representan las transacciones internacionales para el SNI.

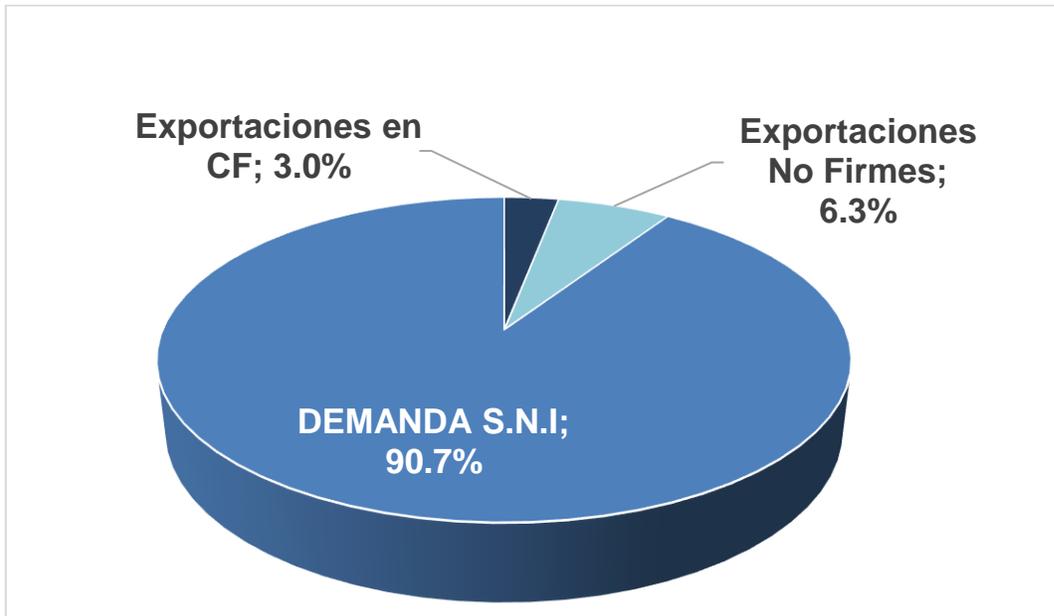
Figura 8. **Demandas abastecidas por el parque generador de Guatemala**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Adicionalmente, se identificó el porcentaje que representan las exportaciones firmes y las no firmes en la demanda total registrada en el sistema eléctrico guatemalteco.

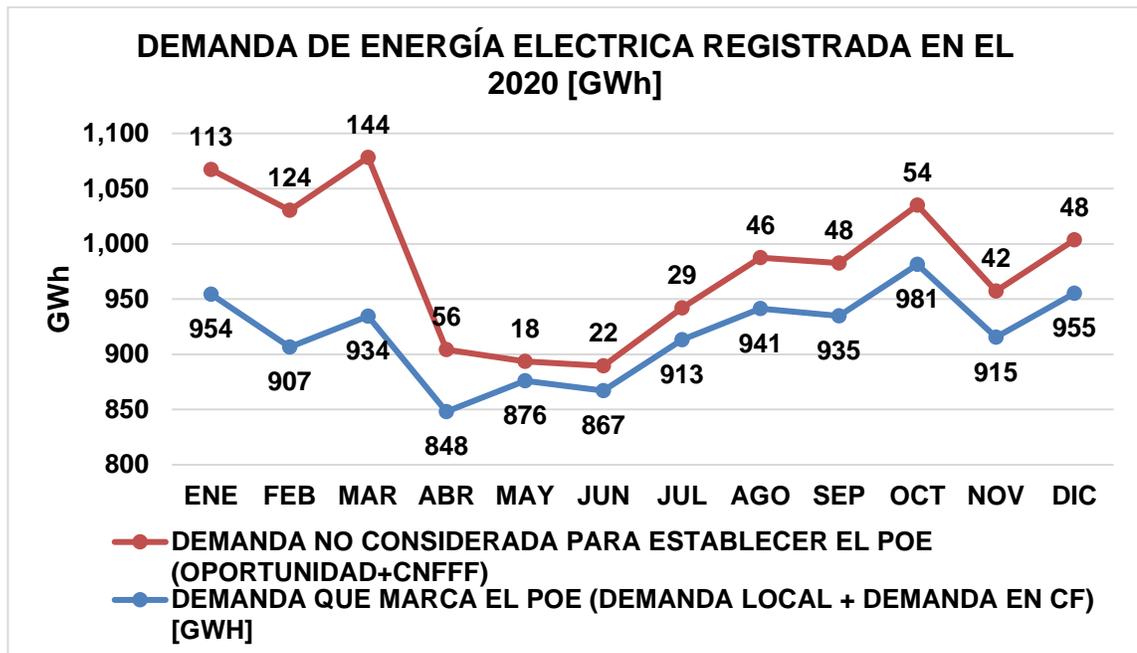
Figura 9. Demandas de energía registradas durante el 2020



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

Se realizó una cuantificación mensual de la demanda considerada para cálculo del precio de oportunidad de la energía (demanda registrada dentro de Guatemala más la demanda en contratos firmes), además, se cuantificó la demanda no considerada para determinación del POE (demanda en transacciones de oportunidad más demanda en CNFFF).

Figura 10. Demandas de energía registradas mensualmente en el 2020



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

3.2. Objetivo 2: determinar el precio de oportunidad de la energía promedio mensual que se establece a partir de una demanda unificada

Se determinó el nuevo precio de oportunidad de la energía a partir de la demanda de exportación no firme, generación forzada, factores de pérdidas nodales y costos variables de generación de los generadores convocados en cada periodo.

3.2.1. Análisis descriptivo de la información

Para determinar el precio de oportunidad de la energía a partir de toda la demanda registrada, se estudió la generación forzada por demanda de exportación que se registró en cada hora del 2020, además, se analizó el CVg y el factor de pérdidas nodales por banda horaria de los agentes generadores, para esto se consultaron los 366 predespachos y posdeshpachos diarios del AMM.

Dado que el POE tiene un comportamiento distinto según la época del año por razones como: temperatura ambiente, demanda, clima, precios internacionales de combustibles, restricciones por el COVID-19, entre otros. Se procedió con un análisis mensual para tener una mejor visualización del impacto de las exportaciones en el precio *spot* de Guatemala.

A continuación, se muestran los promedios mensuales del POE encontrado.

Tabla VI. **POE a partir de una demanda unificada**

Mes-2020	POE promedio con demandas unificadas [\$/MWh]
Enero	55.99
Febrero	69.77
Marzo	59.25
Abril	48.26
Mayo	60.70
Junio	60.02
Julio	63.88
Agosto	57.47
Septiembre	54.47
Octubre	54.57

Continuación de la tabla VI.

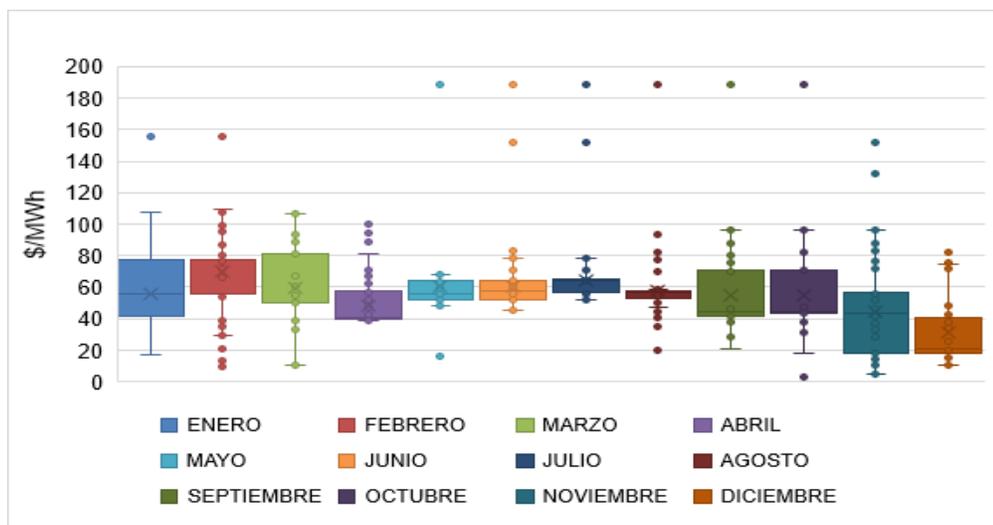
Mes-2020	POE promedio con demandas unificadas [\$/MWh]
Noviembre	44.61
Diciembre	31.11
Promedio	55.01

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Fueron analizados y hallados un total de 8,784 precios de oportunidad de la energía (24 periodos diarios por 366 días del 2020), con los cuales se pudieron obtener los resultados expuestos anteriormente.

A continuación, se muestra la dispersión de los nuevos precios *spot*.

Figura 11. **Dispersión de precios de oportunidad de la energía establecidos con demandas unificadas**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

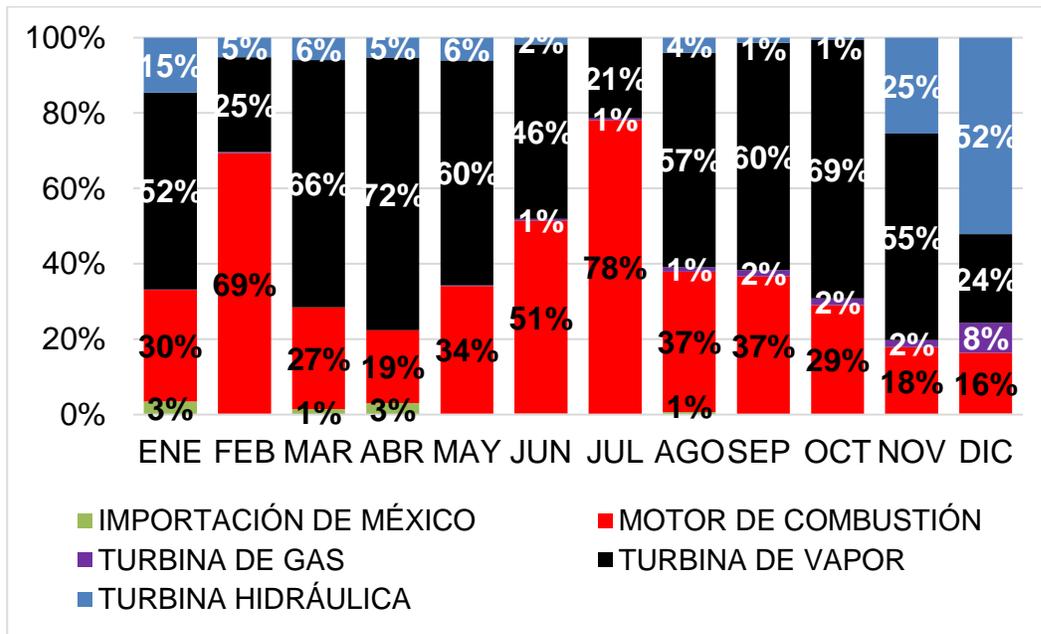
3.3. Objetivo 3: identificar el tipo de tecnología que predominantemente establece el precio de oportunidad de la energía al no considerar una separación de demandas

Se identificó la influencia de cada tipo de tecnología al momento de establecer un nuevo POE.

3.3.1. Análisis descriptivo de la información

A partir de los resultados del segundo objetivo se realizó un análisis mensual respecto a la tecnología de los agentes generadores que establecieron el nuevo precio de oportunidad de la energía.

Figura 12. Tecnologías que marcan el precio de oportunidad de la energía



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

A continuación, se muestra la tecnología que estableció el POE mayoritariamente en cada mes.

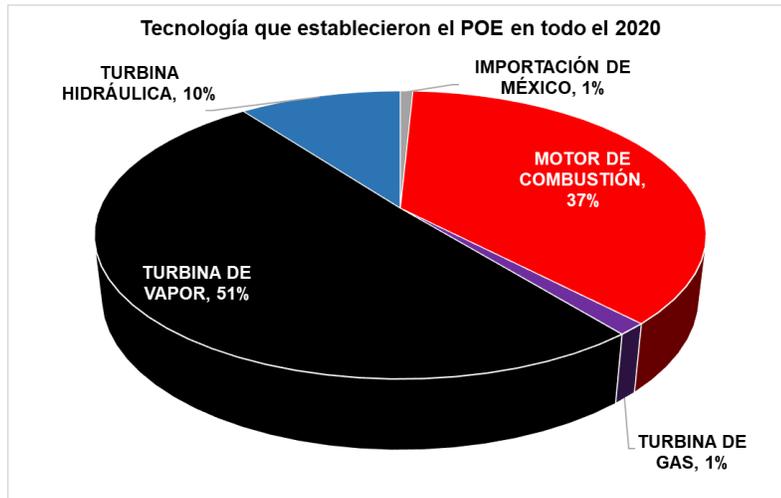
Tabla VII. **Tecnología que establece predominantemente el POE**

Mes-2020	Tecnología
Enero	Turbina de vapor
Febrero	Motor de combustión
Marzo	Turbina de vapor
Abril	Turbina de vapor
Mayo	Turbina de vapor
Junio	Motor de combustión
Julio	Motor de combustión
Agosto	Turbina de vapor
Septiembre	Turbina de vapor
Octubre	Turbina de vapor
Noviembre	Turbina de vapor
Diciembre	Turbina hidráulica

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

En términos de anualidad se realizó una distribución porcentual respecto al número de veces que cada tecnología marcó el precio *spot* de Guatemala.

Figura 13. **Tecnologías que establecen el precio de oportunidad de la energía para todo el 2020**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

3.4. Objetivo general: determinar el comportamiento del precio de oportunidad de la energía al considerar la demanda de exportación no firme como parte de la demanda por abastecer para el año 2020

La demanda de exportación tiene la característica principal que responde a los movimientos del precio de oportunidad de la energía, es decir, todas las transacciones de exportación forman parte de una demanda elástica.

En el presente estudio, la demanda de exportación registrada en transacciones de oportunidad y en contratos no firmes ha sido considerada como una demanda inelástica, la cual forma parte de la demanda nacional independientemente del POE.

Se identificó el crecimiento que experimenta el precio de oportunidad de la energía al considerar toda la demanda a la que se ve sometido el parque generador de Guatemala, respecto al POE calculado por el AMM con la metodología actual.

Se realizó una comparación entre el POE que se fijó con las condiciones actuales del mercado (demandas separadas) y el POE establecido bajo un escenario donde la totalidad de la demanda de exportación es considerada para la marginación.

3.4.1. Comparativa entre precios *spot*

A continuación, se muestran las diferencias entre el POE calculado a partir de la demanda local más CF y el POE calculado con la totalidad de la demanda.

Tabla VIII. **Comparativa entre precios de oportunidad de la energía**

Mes-2020	POE promedio con demandas separadas [\$/MWh]	POE promedio con demandas unificadas [\$/MWh]	Diferencia entre POE [\$/MWh]	Tasa de crecimiento
Enero	35.08	55.99	20.92	60 %
Febrero	46.78	69.77	22.99	49 %
Marzo	35.92	59.25	23.32	65 %
Abril	40.74	48.26	7.52	18 %
Mayo	49.80	60.70	10.90	22 %
Junio	50.63	60.02	9.39	19 %
Julio	55.91	63.88	7.97	14 %
Agosto	47.15	57.47	10.32	22 %
Septiembre	38.68	54.47	15.80	41 %

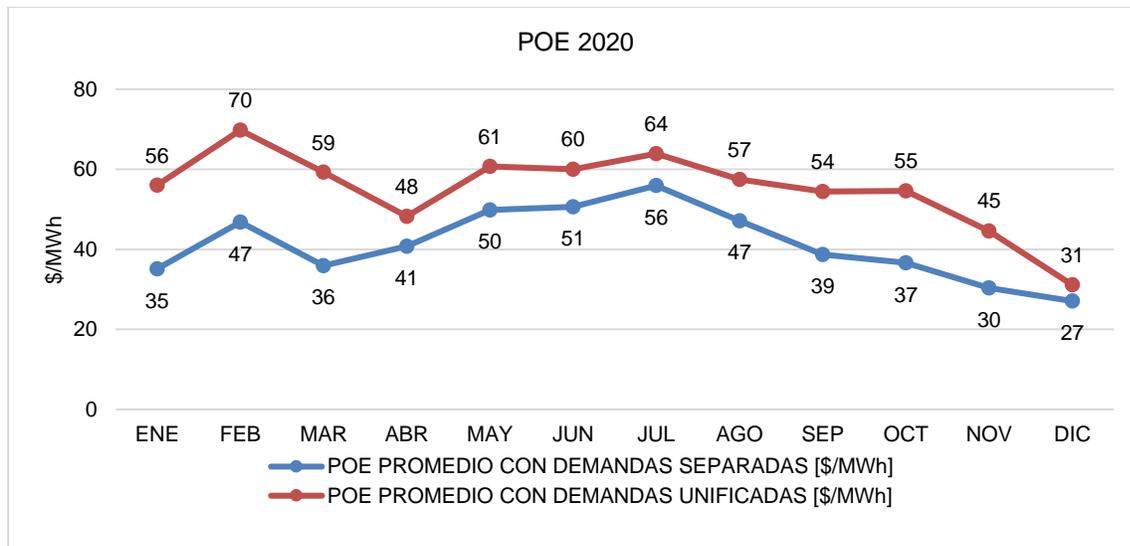
Continuación de la tabla VIII.

Mes-2020	POE promedio con demandas separadas [\$/MWh]	POE promedio con demandas unificadas [\$/MWh]	Diferencia entre POE [\$/MWh]	Tasa de crecimiento
Octubre	36.63	54.57	17.94	49 %
Noviembre	30.31	44.61	14.30	47 %
Diciembre	27.07	31.11	4.04	15 %
Promedio	41.23	55.01	13.78	33 %

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

Graficando paralelamente ambos precios *spot*, se observa un aumento en todos los meses, teniendo su mayor diferencia en los primeros tres meses del año.

Figura 14. POE promedio mensual para el 2020



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos se observa que el precio de oportunidad de la energía experimenta un incremento al considerar la demanda de exportación no firme en la metodología para su determinación, esto dado que la exportación de energía representó en el 2020 el 9.3 % del total de la demanda de energía abastecida por las plantas generadoras instaladas en territorio guatemalteco. El porcentaje de las exportaciones se subdivide en 3 % a través de transacciones firmes y el 6.3 % en operaciones no firmes (contratos no firmes físicos flexibles y transacciones de oportunidad).

La demanda de exportación se caracteriza por ser una demanda elástica ya que responde a la toma de decisiones de los agentes exportadores en base al comportamiento y valor del POE. En el presente estudio se consideró como supuesto que la demanda de exportación es inelástica, es decir, una demanda fija registrada independientemente del precio *spot* establecido en cada periodo.

Los análisis se llevaron a cabo con datos del 2020, año en el que la pandemia del COVID-19 tuvo su mayor apogeo, lo cual tuvo un impacto importante en la demanda de energía tanto nacional como internacional. En la cuantificación de energía exportada, se observa que en abril las transacciones internacionales de exportación experimentaron una importante reducción debido al impacto en los consumos de energía de todos los países por restricciones implementadas por sus gobiernos.

El análisis del Precio de Oportunidad de la Energía que se establece considerando la demanda no firme como parte de la demanda que lo determina,

da como resultado un precio *spot* promedio anual de 55.01 \$/MWh, 13.78 \$/MWh mayor al precio *spot* establecido con demandas separadas, este aumento representa un 33 %.

Dado que el POE refleja distintos valores por razones como el aporte hidrológico en la época de invierno, aporte de ingenios cogeneradores en temporada de zafra, comportamientos de la demanda por días festivos o temperatura ambiente, mantenimientos mayores en plantas de generación y en el sistema de transmisión, indisponibilidades imprevistas de generadores eléctricos, volumen de importación de energía o precios internacionales de los combustibles como carbón, petróleo o gas natural, se realizó una comparación mensual entre el precio *spot* oficial del 2020 (con demandas separadas) y el precio *spot* hallado bajo el escenario de no separación de demandas.

El mayor crecimiento entre ambos precios *spot* se observó en los primeros tres meses del 2020, dado que en dichos meses la pandemia del COVID-19 aún no había impactado de forma considerable en los países centroamericanos, en dicho trimestre se calculó un aumento promedio del 58 %, mientras que, en el resto de los meses, el crecimiento promedio corresponde al 27 % respecto al precio *spot* oficial publicado por el Administrador del Mercado Mayorista.

En base en los resultados obtenidos del nuevo precio de oportunidad de la energía, se observa que las tecnologías que establecen predominantemente el precio *spot* en todos los meses son las turbinas de vapor y los motores reciprocantes.

Las turbinas de vapor predominan en el establecimiento del POE en ocho meses del año, mientras que los motores reciprocantes en tres. En términos de anualidad las turbinas de vapor marginan el 51 % de las veces, los motores el

37 %, las turbinas hidráulicas el 10 % y las importaciones de México y las turbinas de gas 1 % cada una.

Es evidente la importancia de todas las tecnologías en el sistema eléctrico de Guatemala para mantener una seguridad energética que ayude al desarrollo social, ambiental y económico de todo el país.

Dado que los proyectos de generación necesitan financiaciones millonarias para su elaboración, es indispensable que la energía se valore a precios competitivos para que los proyectos sean rentables.

El comportamiento del precio de oportunidad de la energía al considerar la demanda de exportación no firme se refleja en la figura 8, se observa que el POE experimenta un incremento en todos los meses del año, esto a pesar de ser un año de pandemia con grandes impactos en los consumos energéticos. El mes de diciembre es el que presenta menor variación entre precios *spot*, la diferencia es de 4.04 \$/MWh, esto se debe a que en dicho mes las turbinas hidráulicas marginaron el 52 % de las veces, dando como resultado que el precio *spot* no presentara aumentos considerables.

4.1. Análisis interno

En el presente trabajo de investigación se analizaron las 8,784 horas del 2020, es decir, no se realizó muestreo ya que el precio de oportunidad de la energía varía según la época del año, además, depende de los precios internacionales de los combustibles. Por esta razón, se consideró que la mejor forma para obtener resultados confiables y verídicos fuera tomar la totalidad de los datos de generación forzada, costos variables de generación, factor de

pérdidas nodales, precios *spot*, tecnologías de centrales generadoras y exportaciones hacia el MER y México.

El primer objetivo se abordó con la finalidad de visualizar el volumen de exportaciones no firmes que abastece el sistema eléctrico de Guatemala, para lograr el objetivo propuesto se tuvo la necesidad de consultar los archivos públicos del Ente Operador Regional denominados predespachos, ajustes y redespachos, a partir de los cuales se cuantificaron los datos contenidos en la hoja de transacciones de contratos regionales y en la hoja de transacciones de oportunidad programadas. Adicionalmente fue necesaria la revisión de los predespachos publicados por el Administrador del Mercado Mayorista para la cuantificación de la energía exportada hacia México, el principal reto en esta fase fue la necesidad de revisar los archivos denominados redespachos y versiones del programa diario del AMM, debido a la confirmación de las transacciones con México que realizan el AMM con el Centro Nacional de Control de Energía de México por diferencia horaria en algunos meses del año.

En el segundo objetivo se realizó una estimación del precio de oportunidad de la energía establecido a partir de la totalidad de la demanda que abastece el parque generador (demanda nacional, demanda en CF, CNFFF y Oportunidad), para esta fase se consultó la generación forzada por demanda de exportación contenida en los posdespachos diarios del Administrador del Mercado Mayorista, en dichos archivos se identificó el generador con el mayor CVg asignado con GF por SDE, presentando como principal reto tener que revisar en cada periodo el CVg de todos los generadores asignados con GF por SDE.

El tercer objetivo se elaboró para identificar el tipo de tecnología que establece el nuevo POE y hacer evidente la influencia de los precios internacionales del carbón y petróleo en los precios de energía dentro de

Guatemala. Adicionalmente con los resultados de este objetivo se logra visualizar la importancia de contar con una matriz energética diversificada para el abastecimiento de toda la demanda registrada.

4.2. Análisis externo

El Administrador del Mercado Mayorista contrató una consultoría profesional para que analizará y estudiará el precio de oportunidad de la energía que se establece a partir de la totalidad de la demanda de exportación, una de las premisas fundamentales del consultor para el estudio, es que los contratos firmes que hoy en día se consideran para marcar el POE, tienen el mismo tratamiento que las exportaciones no firmes ya que se activan día a día según la declaración de los agentes exportadores. El consultor realizó el análisis con datos del 2019, obteniendo un aumento del 26.5 % en el precio de oportunidad de la energía promedio anual, es decir el promedio simple varió de 63.4 \$/MWh a 80.2 \$/MWh, presentando un aumento de 16.8 \$/MWh. En cuanto al presente estudio, se realizó el análisis con datos del 2020, presentando un aumento del 33 %, es decir el promedio varió de 41.23 \$/MWh a 55.01 \$/MWh, presentando un aumento de 13.78 \$/MWh.

El Administrador del Mercado Mayorista también realizó un estudio del precio de oportunidad de la energía considerando la demanda de exportación no firme, el AMM hizo dicho estudio con datos del 2021 obteniendo un aumento del 5.9 % en el precio promedio anual, es decir el POE varió de 63.36 \$/MWh a 67.12 \$/MWh. En este caso el crecimiento es menor tanto al presente estudio como al realizado por la consultoría contratada por el AMM, esto se debe principalmente a que en el año 2021 la exportaciones experimentaron una importante disminución, ya que las demandas nacionales de los países centroamericanos registraron reducciones durante la pandemia del COVID-19, efecto que

permaneció hasta el año 2021, además, en dicho año se registraron aumentos en los precios de los combustibles fósiles, provocando un incremento en el precio *spot* del mercado eléctrico guatemalteco (haciéndose inviables algunas transacciones de exportación).

En las investigaciones realizada por Lutín (2021) y Ramírez (2018), se evaluaron los efectos en el precio *spot* que causan las pérdidas o aumentos de generación eléctrica para el despacho económico, el análisis de dichos escenarios ha permitido observar el cambio del precio marginal respecto al precio *spot* establecido bajo condiciones normales, si bien dichos estudios evalúan condiciones distintas al presente trabajo de investigación, es notorio que la mejor forma de presentar resultados es por medio de gráficas paralelas para observar ambos precios, además de la elaboración de tablas que permiten observar la variación porcentual entre ambos precios *spot* tal como se presenta en esta investigación.

El tratamiento inelástico de la demanda ha permitido que el estudio no se vea influenciado por el comportamiento de los precios marginales se aplicó el concepto de demanda inelástica para las transacciones no firmes, esta aplicación evitó analizar si algunas transacciones pudieron ser inviables debido a un crecimiento en el precio *spot*, obteniendo así resultados confiables en base a la demanda que realmente se registró.

En el trabajo realizado por de Jara y Luyo (2021), indican que las interconexiones entre países ofrecen oportunidades comerciales de exportación e importación de energía. En la presente tesis se ha identificado que las interconexiones eléctricas de Guatemala con México y con Centroamérica, representaron en el 2020 una demanda de energía de exportación, logrando con

esto que agentes generadores fueran convocados para la generación de energía, obteniendo así otros ingresos además de los que permite el mercado nacional.

En la investigación de Escribano (2014), se indica la importancia del papel de las energías renovables en la seguridad energética de los países, además que los precios de los mercados de corto plazo tienden a disminuir. El presente estudio ha demostrado que para poder abastecer tanto la demanda nacional como las de exportación, es indispensable que se cuente con un parque generador diversificado, esto se observa en la figura 12 donde se muestran las tecnologías que marcan predominantemente el precio de oportunidad de la energía según la época del año.

CONCLUSIONES

1. La cuantificación del volumen de la demanda de exportación no firme registró un promedio mensual de 29.5 GWh exportados, lo que representa un 67 % del total de las transacciones de exportación realizadas en el 2020. Las exportaciones no firmes registraron una disminución a partir del segundo trimestre debido a las restricciones implementadas por los gobiernos de los países vecinos derivado de la pandemia del COVID-19.
2. La determinación del precio de oportunidad de la energía bajo el escenario de unificación de demandas presenta un crecimiento promedio mensual de 13.78 \$/MWh, el aumento del POE fue respecto al precio *spot* oficial del 2020 con demandas separadas. Enero del año en estudio fue el mes que registró el mayor cambio, variando de 35.08 \$/MWh a 55.99 \$/MWh representando un 60 % de crecimiento.
3. Las turbinas de vapor predominantemente establecen el precio de oportunidad de la energía en ocho meses del año, mientras que los motores recíprocos predominan en 3 meses y las turbinas hidráulicas únicamente son mayoritarias en el mes de diciembre. En términos de anualidad, las turbinas de vapor marcaron el POE el 51 % de las veces y los motores recíprocos el 37 %.
4. El comportamiento del precio de oportunidad de la energía considerando la demanda no firme de exportación como una demanda inelástica, muestra un aumento promedio anual de 13.78 \$/MWh, esto demuestra que al considerar la totalidad de la demanda a la que se vio sometido el

parque generador, la energía producida y vendida en el mercado de oportunidad por los agentes generadores es remunerada un 33 % más, respecto al POE promedio oficial del 2020.

RECOMENDACIONES

1. Promover e incentivar la inversión en nuevas plantas de generación para mantener una seguridad en el suministro de electricidad. Dado que el sistema eléctrico de Guatemala abastece tanto una demanda nacional como una demanda extranjera (las transacciones de exportación en el 2020 representaron un 9.3 % de la demanda anual abastecida).
2. Evaluar por parte del Administrador del Mercado Mayorista y la Comisión Nacional de Energía la consideración de la demanda de exportación no firme en el precio de oportunidad de la energía, analizando los impactos en los oferentes y en los compradores del mercado de oportunidad nacional.
3. Diversificar de la matriz energética de Guatemala, mediante los planes de expansión de la generación que elabora el Ministerio de Energía y Minas, promoviendo e incentivando la instalación de nuevas plantas de generación con fuentes renovables hacia el 2035, en búsqueda de una seguridad energética con el 70 % de fuentes renovables y el 30 % de fuentes no renovables de arranque rápido.
4. Modificar la metodología del precio de oportunidad de la energía para que la demanda de exportación no firme sea considerada para su determinación. En términos de sostenibilidad del mercado eléctrico guatemalteco, es indispensable que la energía eléctrica que producen las centrales generadoras sea remunerada a precios justos y competitivos

para que las plantas instaladas no sufran impactos económicos negativos y se mantengan operando dentro del país.

REFERENCIAS

1. Acuerdo Gubernativo Número 256-97. Reglamento de la Ley General de Electricidad. Diario de Centroamérica. Guatemala. 21 de marzo de 1997.
2. Administrador del Mercado Mayorista. (2000). *Norma de coordinación comercial número 4. Precio de oportunidad de la energía*. Guatemala: Autor.
3. Administrador del Mercado Mayorista. (2001). *Norma de coordinación comercial número 5. Sobrecostos de unidades generadoras forzadas*. Guatemala: Autor.
4. Administrador del Mercado Mayorista. (2020). *Informe estadístico 2020*. Guatemala: CNEE.
5. Administrador del Mercado Mayorista. (2021). *Informe estadístico 2021*. Guatemala: Autor.
6. Administrador del Mercado Mayorista. (2022). *Mercado eléctrico de Guatemala*. Guatemala: Autor.
7. António, N. (2017). *Análisis del modelo marginalista y reglamentación de precios de energía eléctrica y de los factores que inciden en los precios de energía en Chile* (tesis de maestría). Universidad de Chile, Santiago de Chile. Recuperado de

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/149760/Analisis-del-modelo-marginalista-y-reglamentacion-de-precios-de-energia-electrica-y-de-los-factores.pdf?sequence=1>.

8. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2015). *Mercado de energía eléctrica guía del inversionista*. Guatemala: Autor.
9. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2021). *Informe estadístico 2021*. Guatemala: UNICOMS 2021.
10. Comisión Regional de Interconexión Eléctrica. (2010). *Reglamento del mercado eléctrico regional*. Guatemala: Autor.
11. Decreto número 93-96. *Ley General de Electricidad*. Diario de Centroamérica. Guatemala. 21 de noviembre de 1996.
12. Escribano, F. (2014). *El videojuego como herramienta para la pedagogía artística. Creatividad e innovación* (tesis de maestría). Universidad Complutense de Madrid, España. Recuperado de <https://docta.ucm.es/entities/publication/0efddf00-bdc5-4096-91c1-3bf2856e4b28>.
13. Fuentes, F. (2014). *Análisis y fundamentación del modelo marginalista de precios eléctricos en Chile*. Chile: Universidad Alberto Hurtado. Recuperado de <https://repositorio.uahurtado.cl/bitstream/handle/11242/6633/l-303.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

14. Gómez, N. (agosto, 2016). Mercado de oportunidad de la energía en Guatemala: un modelo teórico. *Revista académica ECO*, 14, 71-87. Recuperado de http://recursosbiblio.url.edu.gt/CParens/Revista/ECO/Numeros/15/06/06_ECO15.pdf.
15. Jara, F. y Luyo, J. (junio, 2021). Impacto de la interconexión de mercados eléctricos transfronterizos en la expansión de los parques de generación de Perú y Ecuador. *Tecnia*, 31(2), 73-82.
16. Lozano, G. (2013). *Análisis de la composición óptima del parque de generación eléctrica en el Perú estimado la valorización de las emisiones de dióxido de carbono* (tesis de maestría). Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú.
17. Lozano, J., Jaime, L. y Yuri, M. (2018). El mercado eléctrico mayorista: agentes y modelos de organización. *TECNIA*, 28, 61-72.
18. Lutín, V. (2021). *Estudio de seguridad energética del parque generador de electricidad de Guatemala ante escenarios de pérdida de generación de las centrales San José y Jaguar Energy* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
19. Mijangos, E. (2019). *Evolución de la matriz de generación de Guatemala y su impacto en las transacciones internacionales de energía eléctrica* (tesis de maestría). Universidad Galileo, Guatemala.
20. Ministerio de Energía y Minas. (2017). *Subsector eléctrico en Guatemala*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.mem.gob.gt/wp->

content/uploads/2015/06/Subsector-EI%C3%A9ctrico-en-Guatemala.pdf.

21. Molina, C. Martínez, V. y Rudnick, H. (2005). La Megacizalla Mojave-Sonora: la hipótesis, la controversia y el estado actual de conocimiento. *Sociedad Geológica Mexicana*, LVII(1), 1-26. Recuperado de <http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca04/5701/%281%29Molina.pdf>.
22. Portela, N. y Utray, J. (2009). Un diseño de mercado para el sector eléctrico español. *Papeles de economía española*, 121, 141-158. Recuperado de https://www.funcas.es/wp-content/uploads/Migracion/Articulos/FUNCAS_PEE/121art14.pdf.
23. Ramírez, J. M. (2018). *Evaluación técnica-económica de los efectos de la introducción de energías renovables no convencionales al Sistema Nacional Interconectado de Guatemala* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <https://1library.co/document/y438vv9z-evaluacion-economica-introduccion-energias-renovables-convencionales-interconectado-guatemala.html>.
24. Rojas, J. (2016). *Evaluación de las implicaciones del nuevo marco regulatorio del mercado eléctrico en la región centroamericana, en el caso del mercado eléctrico de Guatemala, para las transacciones de electricidad hacia la región centroamericana* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

25. Salazar, C. y Del Castillo, S. (2018). *Fundamentos básicos de estadística*. Ecuador: Autores. Recuperado de <https://pubhtml5.com/skfd/tkbj/basic>.

26. Sancha, J. (septiembre, 2012). El sistema eléctrico español (VII) mercado eléctrico. *Anales de mecánica y electricidad*, 35-43. Recuperado de [https://www.iit.comillas.edu/documentacion/IIT-12-203R/El_Sistema_El%c3%a9ctrico_Espa%c3%b1ol_\(VII\)._Mercado_el%c3%a9ctrico._2%c2%aa_Parte.pdf](https://www.iit.comillas.edu/documentacion/IIT-12-203R/El_Sistema_El%c3%a9ctrico_Espa%c3%b1ol_(VII)._Mercado_el%c3%a9ctrico._2%c2%aa_Parte.pdf).

APÉNDICES

A continuación, se muestran los formatos empleados en la recolección de datos.

Apéndice 1. Volumen de MWh exportados en transacciones de oportunidad



Universidad de San Carlos de Guatemala
 Facultad de ingeniería
 Escuela de estudios de Postgrado
 Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados
 Guatemala septiembre del 2022

Periodo/Fecha	Volumen de MWh exportados de Guatemala hacia el Mercado de Oportunidad Regional							
	1/01/2020	2/01/2020	3/01/2020	4/01/2020	5/01/2020	6/01/2020	7/01/2020
0								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
TOTAL MWh								

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Apéndice 2. Volumen de MWh exportados en CNFFF



Universidad de San Carlos de Guatemala
 Facultad de ingeniería
 Escuela de estudios de Postgrado
 Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados
 Guatemala septiembre del 2022

Periodo/Fecha	Volumen de MWh exportados de Guatemala en Contratos No Firmes Fisicos Flexibles							
	1/01/2020	2/01/2020	3/01/2020	4/01/2020	5/01/2020	6/01/2020	7/01/2020	8/01/2020
0								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
TOTAL MWh								

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Apéndice 3. **Precios de oportunidad de la energía del 2020**



Universidad de San Carlos de Guatemala
 Facultad de ingeniería
 Escuela de estudios de Postgrado
 Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados
 Guatemala septiembre del 2022

Precio de Oportunidad de la Energía 2020			
Fecha	Periodo	POE (US\$/MWh)	Generador Marginal
1/01/2020	0		
	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
	6		
	7		
	8		
	9		
	10		
	11		
	12		
	13		
	14		
	15		
	16		
	17		
	18		
	19		
	20		
	21		
	22		
	23		

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Apéndice 4. **Determinación de la tecnología que predominantemente establece el POE**



Universidad de San Carlos de Guatemala
 Facultad de ingeniería
 Escuela de estudios de Postgrado
 Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados
 Guatemala septiembre del 2022

Periodo/Fecha	Nombre de los generadores asinados con Generación Forzada por demanda de exportación							
	1/01/2020	2/01/2020	3/01/2020	4/01/2020	5/01/2020	6/01/2020	7/01/2020
0	G1							
1								
2								
3			G1					
4	G2							
5								
6				G6				
7	G5							
8							G7	
9								
10					G9			
11								
12			G5					
13								
14								
15		G4						
16								
17						G5		
18								
19								
20								
21								
22	G3			G6				
23								

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Apéndice 5. **Precios de oportunidad de la energía considerando la totalidad de la demanda**



Universidad de San Carlos de Guatemala
 Facultad de ingeniería
 Escuela de estudios de Postrgrado
 Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados
 Guatemala septiembre del 2022

Precio de Oportunidad de la energía considerando la totalidad de la demanda				
Fecha	Periodo	POE (US\$/MWh)	Generador Marginal	Tecnología
1/01/2020	0			
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			
	21			
	22			
	23			

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Apéndice 6. Matriz de coherencia

Título de la investigación	Planteamiento del problema de investigación	Preguntas de investigación	Objetivos
Análisis del comportamiento del precio de oportunidad de la energía considerando la demanda de exportación no firme durante el año 2020.	En la norma de coordinación comercial número 4 se establece que la demanda de energía del sistema nacional interconectado más la demanda de exportación de contratos firmes es la demanda considerada para el establecimiento del precio de oportunidad de la energía. Dado que la demanda que abastece el parque generador instalado en el país fue separada en demanda local y demanda de exportación, tiene como efecto que la demanda de energía eléctrica empleada para la determinación del precio de oportunidad de la energía no considere la totalidad de la demanda a la que se ve sometido el sistema eléctrico guatemalteco.	Principal	General
		¿Cuál es el comportamiento del precio de oportunidad de la energía al considerar la demanda de exportación no firme como parte de la demanda por abastecer durante el 2020?	Determinar el comportamiento del precio de oportunidad de la energía al considerar la demanda de exportación no firme como parte de la demanda por abastecer.
		Auxiliares	Específicos
		¿Cuánto es el volumen mensual de la demanda de exportación no firme para el sistema eléctrico guatemalteco durante el 2020?	Cuantificar el volumen mensual de la demanda de exportación no firme para el sistema eléctrico guatemalteco.
		¿Cuál es el POE promedio mensual que se establece a partir de una demanda unificada?	Determinar el POE promedio mensual que se establece a partir de una demanda unificada.
		¿Qué tipo de tecnología predomina para establecer el precio de oportunidad de la energía al no considerar una separación de demandas?	Identificar el tipo de tecnología que predomina para establecer el precio de oportunidad de la energía al no considerar una separación de demandas.

Continuación apéndice 6.

Resultados	Conclusiones	Recomendaciones
<p>Se cuantificó la demanda de exportación registrada en CNFFF dando como resultado un promedio mensual de 44.5 GWh de exportación, mientras que la exportación en transacciones de oportunidad tanto hacia Centro América como hacia México resultó en un promedio mensual de 8.67 GWh.</p>	<p>La cuantificación del volumen de la demanda de exportación no firme, registró un promedio mensual de 29.5 GWh exportados, lo que representa un 67 % del total de las transacciones de exportación realizadas en el 2020. Las exportaciones no firmes registraron una disminución a partir del segundo trimestre debido a las restricciones implementadas por los gobiernos de los países vecinos derivado de la pandemia del COVID-19.</p>	<p>Dado que el sistema eléctrico de Guatemala abastece tanto una demanda nacional como una demanda extranjera, es necesario que se promueva e incentive la inversión en nuevas plantas de generación para mantener una seguridad en el suministro de electricidad.</p>
<p>Se encontró el precio promedio mensual del Precio de Oportunidad de la Energía a partir del total de las demandas de energía que abastece Guatemala, se obtuvo un promedio anual de 55.01 \$/MWh, mientras que el máximo valor se registró en el mes de febrero con 69.77 \$/MWh y el mínimo se registró en diciembre con 31.11 \$/MWh.</p>	<p>La determinación del Precio de Oportunidad de la Energía bajo el escenario de unificación de demandas presenta un crecimiento promedio mensual de 13.78 \$/MWh, el aumento del POE fue respecto al precio <i>spot</i> oficial del 2020 con demandas separadas. Enero del año en estudio fue el mes que registró el mayor cambio, variando de 35.08 \$/MWh a 55.99 \$/MWh representando un 60 % de crecimiento.</p>	<p>Es oportuno que las entidades encargadas del subsector eléctrico de Guatemala evalúen los impactos que causa la consideración de la demanda de exportación no firme en el Precio de Oportunidad de la Energía. Los impactos deben evaluarse tanto en los vendedores como en los compradores del mercado de oportunidad nacional.</p>

Continuación apéndice 6.

Resultados	Conclusiones	Recomendaciones
<p>Se identificaron las tecnologías que establecen el nuevo precio de oportunidad de la energía, entre los resultados obtenidos se observa que las turbinas de vapor y los motores reciprocantes son las tecnologías que predominan en el establecimiento del precio <i>spot</i> de Guatemala, otras tecnologías que también marcaron el POE aunque con menor frecuencia fueron las turbinas hidráulicas, las turbinas de gas y las importaciones provenientes de México.</p>	<p>A partir de la identificación del tipo de tecnologías que establecen el precio de oportunidad de la energía con una demanda unificada, se observa que las turbinas de vapor son las que predominantemente lo establecen en ocho meses del año, mientras que los motores reciprocantes predominan en 3 meses y las turbinas hidráulicas únicamente son mayoritarias en el mes de diciembre. En términos de anualidad, las turbinas de vapor marcaron el POE el 51 % de las veces y los motores reciprocantes el 37 %.</p>	<p>Es necesaria la diversificación de la matriz energética de Guatemala, mediante los planes de expansión de la generación y transporte que elabora el Ministerio de Energía y Minas considerando distintos tipos de tecnologías que aporten seguridad energética al país y favorezcan a la economía de los oferentes y consumidores de electricidad.</p>
<p>El precio de oportunidad de la energía al ser calculado tomando en cuenta la demanda de exportación no firme, experimenta un crecimiento en todos los meses del año 2020 reflejando un promedio anual de 55.01 \$/MWh. Adicionalmente se muestra que en el primer trimestre del año en estudio la diferencia entre el nuevo POE y el oficial es mayor al resto de los meses, esto debido al impacto de la pandemia del COVID-19.</p>	<p>El comportamiento del precio de oportunidad de la energía considerando la demanda no firme de exportación como una demanda inelástica, muestra un aumento promedio anual de 13.78 \$/MWh, esto demuestra que al considerar la totalidad de la demanda a la que se vio sometido el parque generador, la energía producida y vendida en el mercado de oportunidad por los agentes generadores es remunerada un 33 % más, respecto al POE promedio oficial del 2020.</p>	<p>En términos de sostenibilidad del mercado eléctrico guatemalteco, es indispensable que la energía eléctrica que producen las centrales generadoras sea remunerada a precios justos y competitivos para que las plantas instaladas no sufran impactos económicos negativos y se mantengan operando dentro del país, por esto, es recomendable que la metodología para la determinación del precio de oportunidad de la energía sea modificada para que la demanda de exportación no firme.</p>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.