



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA

Para Obtener el título de Licenciatura en Ingeniería en Energías Renovables.

TESIS

Evaluación del consumo de gas natural e ingresos obtenidos por venta de energía en una central de cogeneración.

Para Obtener el Título de
Ingeniero en Energías Renovables

PRESENTA

SAID HASAN ROLDÁN PÉREZ

MATRICULA: 201731316

ASESORES DE TESIS

Dra. LAURA ALICIA PANIAGUA SOLAR

Dra. NALLELY TÉLLEZ MÉNDEZ

PUEBLA, PUE. A 21 de MARZO 2024

Índice de Tablas

Tabla 1. Precios promedio por hora agosto 2022 [Fuente Propia]	54
Tabla 2. Precios Promedio por Hora agosto 2023 [Fuente Propia].....	55
Tabla 3. Propuesta de Nominación para agosto 2023 [Fuente Propia]	57
Tabla 4. Primera comparación en agosto 2023 [Fuente Propia].....	58
Tabla 5. Ejemplo de Modificación [Fuente Propia]	60
Tabla 6 Prueba t para medias de dos muestras emparejadas	66

Índice de Figuras

Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible [2]	11
Figura 2. Transacción Bilateral Financiera [33].....	32
Figura 3. Diagrama de Dispersión [38]	42
Figura 4. Distribución de Energía Eléctrica [Fuente Propia].....	47
Figura 5. Pesos mexicanos por dólar [40]	48
Figura 6. Áreas de control del MEM [41]	49
Figura 7. Zonas de carga del MEM [41].....	50
Figura 8. Precios promedios MDA y MTR 2022- 2023 [Fuente Propia]	51
Figura 9. Distribución de Precios por hora 2022[Fuente Propia].....	52
Figura 10. Distribución de Precios por hora 2023 [Fuente Propia]	52
Figura 11. Precios promedio MDA 2022-2023 [Fuente Propia]	61
Figura 12. Precios promedio e Ingresos 2022-2023 [Fuente Propia]	62
Figura 13. Consumo de GN y Generación Eléctrica [Fuente Propia].....	63
Figura 14. Consumo de GN e Ingreso 2022-2023 [Fuente Propia]	64
Figura 15. Comparación de Últimos Cuatrimestres 2022-2023 [Fuente Propia].....	65
Figura 16. Horas críticas del Mercado de Potencia [Fuente Propia].....	73
Figura 17. Balance de costos con pago de potencia [Fuente Propia]	73
Figura 18. Ahorros 2023 [Fuente Propia].....	74

Índice

Glosario.....	6
Capítulo I Introducción.	7
1.1 Introducción	7
Planteamiento del problema.....	8
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos	9
Justificación.....	9
Hipótesis Alternativa	10
Hipótesis Nula	10
Capítulo II Marco Teórico	11
2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible.	11
2.1.1 Objetivo 7. Energía Asequible y No Contaminante:.....	11
2.1.2 Objetivo 12. Producción y Consumo Responsable: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenible.	12
2.2 Gas Natural.....	12
2.3 Antecedentes de la energía eléctrica.....	13
2.3.1 Michael Faraday	13
2.3.2 Thomas Edison	14
2.3.3 Nikola Tesla	14
2.2 Energía Eléctrica.	15
2.3 Historia de la CFE.....	16
2.4 Energías Renovables.....	18
2.5 Reforma energética.....	18
2.6 Eficiencia energética	20
2.7 Cogeneración	21
2.8 CENACE.....	22
2.9 SENER	22
2.10 CRE	23
2.11 Mercado Eléctrico Mayorista (MEM)	23
2.11.1 Elementos del Mercado de Energía de Corto Plazo	25
2.11.2 Ofertas, Instrucciones y Liquidaciones de las Centrales Eléctricas	26
2.11.3 Herramientas auxiliares del mercado	27
2.11.4 Contratos de Cobertura Eléctrica.....	28

2.11.5 Componentes de los Precios Marginales Locales (PML)	28
2.11.6 Certificados de Energías Limpias.....	29
2.11.7 Mercado de Energía de Corto Plazo (MECP)	31
2.11.8 Ofertas de Ventas.....	31
2.11.9 Transacciones Bilaterales Financieras.....	31
2.11.10 Pronósticos de generación firme no despachable.	33
2.11.11 Mercado del Día en Adelanto (MDA)	35
2.11.12 Mercado de Tiempo Real (MTR)	36
2.11.13 Servicios conexos	38
2.11.14 Disponibilidad de Gas Natural.....	38
2.11.15 Liquidaciones en Operación	39
2.11.16 Mercado de Potencia	40
2.12 Estadística.....	40
2.12.1 Estadística descriptiva	40
2.12.2 Estadística inferencial.....	41
2.12.3 Diagrama de dispersión.....	41
2.12.4 Coeficiente de correlación	42
2.12.5 Prueba t Pareada	43
2.12.6 Hipótesis Nula	44
Capítulo III Metodología.	46
3.1 Análisis de la operación de la central eléctrica, identificando patrones y comportamientos.....	46
3.2 Detalles sobre las limitantes y restricciones en la operación de la fábrica.....	48
3.3 Recopilación de los precios en el nodo de conexión de la central eléctrica.....	49
3.4 Revisión de literatura referente a optimización de centrales eléctricas, gestión de la energía y mercados eléctricos.....	50
3.5 Estadística descriptiva	51
3.6 Base de la nominación.	54
3.7 Simulación y escenarios para su comparación.....	57
3.8 Adaptabilidad del Simulador a Cambios en el Mercado.	59
3.9 Estadística Inferencial y Resultados	60
Capítulo IV. Resultados.	61
4.1 Precios del Mercado del Día en Adelanto 2022 - 2023	61
4.2 Operación técnica: consumo de gas natural contra Generación de Energía	63

4.3 Coeficiente de Correlación de Pearson	65
4.4 Prueba t para medias de dos muestras emparejadas (Pareada)	66
Conclusión.....	68
Referencias	69
Anexos	73

Glosario

MEM: Mercado Eléctrico Mayorista.

Mercado de Corto Plazo:

- MDA: Mercado del Día en Adelanto.
- MTR: Mercado de Tiempo Real.

PML: Precios Marginales Locales.

- Energía Marginal.
- Congestión Marginal.
- Pérdidas Marginales.

TBfin: Transacciones Bilaterales Financieras.

MBP: Mercado de Balance de Potencia.

Nominación: Oferta de los participantes del Mercado individual para cada hora del día de operación.

Capacidad Instalada: Plena carga técnica de salida de una instalación de una planta de energía, medida en MW Mega Watt.

MW: 1,000,000 W = 1,000 kW.

MWh: Consumo de Potencia por el tiempo.

CHP: Combined Heat and Power; Cogeneración Térmica-Eléctrica.

CENACE: Centro Nacional de Control de Energía.

CRE: Comisión Reguladora de Energía.

SENER: Secretaría de Energía.

CEL: Certificado de Energía Limpia.

Coeficiente de correlación de Pearson: Indicador estadístico que mide la tendencia de dos variables cuantitativas a tener una relación de linealidad entre ellas. Valores entre -1 y 1.

Capítulo I Introducción.

1.1 Introducción

Este estudio se centra en la mejora operativa de la planta de cogeneración de 7.48 MW en Perote, Veracruz, que participa en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) de México como una central no despachable. En respuesta a las condiciones actuales del mercado, el estudio busca mejorar la correlación entre el consumo de gas natural y los ingresos por venta de energía al MEM, como parte de un esfuerzo más amplio para transitar hacia prácticas energéticas más sostenibles.

En la planta de cogeneración de Perote, Veracruz, el mayor impacto financiero es el combustible del gas natural, representando un 65% del gasto total. Esto es lo más significativo y es una variable a la que debemos prestar atención para disminuir o aumentar el gasto de una manera respaldada con metodologías que ofrezcan mayor eficiencia.

A pesar de que el MEM actualmente presenta desafíos para las centrales de generación privadas basadas en combustibles no renovables, la energía eléctrica limpia, derivada del gas natural, juega un papel crucial en la transición hacia la independencia de los combustibles fósiles. En este contexto, se propone un simulador desarrollado en una plataforma de cálculo que guía la operación basándose en los precios fluctuantes del mercado, explorando así las oportunidades para optimizar y aprovechar el recurso del gas natural.

El estudio se enfoca en el último cuatrimestre de 2023, comparándolo con el mismo periodo en 2022. Esta comparación, definida por el comportamiento del mercado, nos ayudará a determinar la eficiencia y optimización que se puede lograr con el simulador, permitiendo además la comparación metodológica de las variables del mismo grupo en diferentes años.

Se analizará mediante estadística descriptiva para encontrar patrones, observar relaciones estacionarias y permitir la compresión tanto del MEM como de la operación diaria de la planta de cogeneración y su carga conectada, la Fabrica. Dentro de la metodología se trabajará con el coeficiente de correlación de Pearson, para analizar la eficiencia después de la implementación del simulador, lo cual nos facilitará la aprobación o negación de nuestra hipótesis correlacional propuesta.

Finalmente, esta investigación destaca la importancia de adoptar e implementar tecnologías, métodos y análisis en el sector energético. Su objetivo es contribuir al conocimiento existente y proporcionar ideas valiosas para la gestión efectiva de plantas de cogeneración similares. Dado que el MEM está en constante cambio, es esencial analizarlo, comprenderlo y, lo más importante, adaptarse a él para evitar pérdidas monetarias e ineficiencias en los procesos de generación.

Planteamiento del problema

El problema central es la falta de una herramienta eficaz para la toma de decisiones estratégicas en la nominación de venta de energía al CENACE. Las estrategias actuales no se alinean con las fluctuaciones del mercado, lo que resulta en una subutilización de recursos y pérdidas financieras.

Actualmente las estrategias de nominación no están alineadas con las condiciones fluctuantes del mercado y los patrones de los precios del Mercado del Día en Adelanto (MDA) lo cual puede resultar en subutilización de recursos, mayores costos operativos y pérdida de ingresos.

Actualmente se muestra una descompensación en la venta de energía, los precios a los que se vende la energía dentro del último cuatrimestre de 2022 se encontró bajo el -94% de su costo de producción, la venta de energía impactó de una manera negativa, causando perdidas dentro de la operación, el mercado y las circunstancias no eran las más favorables para la energía en México.

Sin embargo, para poder analizar el por qué se estaban teniendo un desplome en los ingresos hacía falta una metodología a implementar, analizar los datos que el mercado proporciona, y el tomar las decisiones de en qué momento era mejor vender la energía, no era tan visible debido a que no se tenía en observación las fluctuaciones y variables que podrían afectar al Mercado Eléctrico Mayorista.

Se requiere diseñar y desarrollar un programa de simulación en el cual se observe el comportamiento del mercado y en base a los distintos análisis proporcionar una buena nominación de exportación de energía, trabajar en el modelo de correlación de Pearson y analizar qué tan eficiente es llevar el control del mercado y la venta de energía, con las variables de consumo de gas natural y el ingreso obtenido por venta al MEM.

Después de analizar el comportamiento que se tiene en la central se obtiene que el 65% de los gastos financieros viene a través del consumo del gas natural, su gasto energético se ve afectado directamente por la generación, sin embargo, algo tangible que se pueda medir directamente en dinero y no dependiente más que del costo del GJ de Gas Natural, se toma la decisión de que dicho combustible sea la variable para medir contra el ingreso por venta de energía al Mercado Eléctrico Mayorista (MEM). Este indicador nos ayudará más adelante a tener un entendimiento de los resultados que nos proporciona el uso de herramientas de análisis y simulación.

Objetivo general

Evaluar el consumo de gas natural y el ingreso obtenido del MEM en la planta de cogeneración de 7.48 MW en Perote, Veracruz. En los últimos cuatrimestres de 2022 contra 2023.

Objetivos específicos

1. Se analizarán los precios históricos del mercado (MDA) y el consumo de gas natural en la central a lo largo del último cuatrimestre de los años 2022-2023.
2. Se comparará en periodos de tiempo cuatrimestrales para observar su indicador de [MXN/GJ]. Para evaluar los niveles de mejora que se requieren en la planta de cogeneración.
3. Se diseñará y desarrollará un simulador en una plataforma de cálculo para buscar la mejor nominación (Energía exportada al MEM), que permita el aumento de los ingresos por venta.
4. Se evaluará con estadística descriptiva e inferencial el valor agregado de la implementación del estudio en la planta de cogeneración.

Justificación

El aporte al conocimiento humano de este estudio radica en su enfoque innovador para mejorar la eficiencia operativa y financiera de las centrales eléctricas. Al centrarse en la correlación entre el consumo de gas natural y los ingresos por venta de energía al MEM, este estudio proporciona una nueva perspectiva sobre cómo gestionar de manera efectiva los recursos energéticos. Además, la creación de un simulador práctico para evaluar las estrategias de nominación representa un avance significativo en la toma de decisiones informada en el sector energético. Este estudio, por lo tanto, contribuye a la comprensión y optimización de la gestión de la energía, un campo de importancia crítica para el futuro sostenible de nuestro planeta.

El siguiente apartado tiene como finalidad fundamentar la siguiente investigación, contribuye significativamente al manejo de recursos para la generación de energía eléctrica. Al centrarse en la correlación entre el consumo de gas natural y los ingresos por venta de energía al Mercado Eléctrico Mayorista, este estudio proporciona una nueva perspectiva sobre cómo gestionar de manera efectiva los recursos energéticos.

Esta investigación evalúa y minimiza las pérdidas monetarias mediante el uso de un simulador para evaluar las estrategias de nominación, los gestores pueden tomar decisiones informadas que maximicen los ingresos y minimicen las pérdidas. Esto es especialmente relevante en un mercado fluctuante, donde las decisiones mal informadas pueden resultar en una subutilización de recursos y pérdidas financieras.

También verifica y controla la operación, al proporcionar una herramienta práctica y adaptable para la toma de decisiones, los gestores pueden verificar y controlar la operación de la central eléctrica de manera más efectiva. Esto es crucial para garantizar que la central eléctrica funcione de manera rentable.

Además, esta investigación implementa modelos de calidad internos al utilizar el coeficiente de correlación del método de Pearson, este estudio implementa un modelo de calidad que puede medir la eficacia de las estrategias de nominación. Este modelo de calidad puede ser una valiosa adición a los modelos de calidad internos existentes.

Al proporcionar una herramienta para la toma de decisiones informada, este estudio puede ayudar a mejorar continuamente los procesos de la oferta de venta de energía al Mercado Eléctrico Mayorista (MEM). Esto puede resultar en una mejor operación y manejo financiero.

Incluir este enfoque en los procesos de generación de energía en México es crucial debido a su potencial para optimizar la eficiencia operativa y financiera. Al correlacionar el consumo de gas natural con los ingresos por venta de energía, se puede maximizar la rentabilidad y minimizar las pérdidas.

Hipótesis Alternativa

A partir de un análisis del mercado eléctrico mayorista y una oferta de venta de energía adaptada al mercado, se aumenta la correlación entre el consumo de gas natural y los ingresos por venta de energía.

Hipótesis Nula

A partir de un análisis del mercado eléctrico mayorista y una oferta de venta de energía adaptada al mercado, no se aumenta la correlación entre el consumo de gas natural y los ingresos por venta de energía.

Capítulo II Marco Teórico

2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. En 2015, todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los Objetivos en 15 años.[1]

2.1.1 Objetivo 7. Energía Asequible y No Contaminante:

El acceso a la electricidad en los países más pobres ha comenzado a acelerarse, la eficiencia energética continúa mejorando y la energía renovable está logrando resultados excelentes en el sector eléctrico.

La energía es el factor que contribuye principalmente al cambio climático y representa alrededor del 60% de todas las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. [2]

Meta del objetivo 7, de aquí al 2030 duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética. Y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias.

De aquí al 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos los países en desarrollo. [2]



Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible [2]

2.1.2 Objetivo 12. Producción y Consumo Responsable: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenible.

Esta investigación se basa en una mejora continua en la cual se ve beneficiados en una operación responsable, con el uso razonable de los recursos sin desperdiciar fuentes como el gas natural y teniendo respaldo de información para toda razón de operación.

El consumo y la producción son la fuerza de impulso de la economía mundial, dependen del uso del medio ambiente natural y de los recursos de una manera continúa teniendo efectos destructivos sobre el planeta. El progreso económico y social conseguido durante el último siglo ha estado acompañado de una degradación medioambiental que está poniendo en peligro los mismos sistemas de los que depende nuestro desarrollo futuro y nuestra supervivencia.

El consumo y la producción sostenibles consisten en hacer más y mejor con menos. También se trata de desvincular el crecimiento económico de la degradación medioambiental, aumentar la eficiencia de recursos y promover estilos de vida sostenibles. El consumo y la producción sostenible también puede contribuir de manera sustancial a la mitigación de la pobreza y a la transición hacia economías verdes y bajas en emisiones de carbono.

En las metas del objetivo 12 se encuentra el alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes.

Ayudar a los países en desarrollo a fortalecer su capacidad científica y tecnológica para avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles. [3]

El crear un método que este en la vigilancia de la eficiencia en la operación de las centrales eléctricas podrá reducir el desperdicio de consumo de recursos naturales como el gas natural, es importante seguir esa dirección como sociedad, como empresa y como país para aportar a la detención del cambio climático, realizar una producción de energía de la manera más sostenible y productiva para todos.

2.2 Gas Natural.

La industria del gas natural se organiza alrededor de mercados abiertos a la participación privada y a la inversión extranjera. La reforma energética de 2013 sometió a Petróleos Mexicanos (Pemex) a limitaciones legales y regulatorias para que su participación no inhibiera la entrada y crecimiento de empresas privadas. Ocho años después, la industria del gas natural sigue siendo mayoritariamente pública. [4]

El gas natural es visto en la actualidad como una de las principales y más relevantes fuentes de energía, usada tanto para uso doméstico como para uso industrial o comercial, es un tipo de energía menos dañina para el medio ambiente, seguro,

accesible en términos económicos y la única alternativa que, en la práctica, puede sustituir masivamente al carbón y a los petrolíferos en diversos usos. [5]

El gas natural ha sido la energía más consumida en el país desde 2014. Su participación en el consumo primario alcanza el 48%. El avance del gas en la oferta de energía ha sido espectacular, con un crecimiento del 3,5% en promedio anual entre 2000 y 2019. La producción alcanzó un máximo histórico de 7.031 millones de pies cúbicos diarios (mmpcd) en 2009 y declina desde entonces. De los 4.894 mmpcd extraídos en 2019 solo se obtuvieron 2.618 mmpcd de gas seco, frente a una demanda de 8.169 mmpcd. El 62,2% del consumo de gas seco se destina a la generación de electricidad. El 60,6% de la electricidad que se consume en el país es generada con gas. [4]

La planta de cogeneración que se propone en esta tesis se basa en el uso de gas natural para la generación de energía eléctrica. Esta propuesta es especialmente relevante dado el papel predominante del gas natural en el panorama energético del país. Desde 2014, el gas natural ha sido la fuente de energía más consumida, representando el 48% del consumo primario. En este contexto, la planta de cogeneración contribuye a satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica, aprovechando la abundancia y la eficiencia del gas natural como fuente de energía.

2.3 Antecedentes de la energía eléctrica.

2.3.1 Michael Faraday

En el siglo XIX, un período marcado por los avances en la ciencia eléctrica, muchos científicos se dedicaron a entender los fundamentos físicos y matemáticos de la electricidad. Sin embargo, fue necesario que alguien transformara ese conocimiento en tecnología utilizable.

El científico inglés Michael Faraday (22 de septiembre de 1791 – 25 de agosto de 1867) observó que un alambre que transportaba corriente giraba continuamente alrededor del polo de un imán. Faraday se apresuró a publicar el anuncio de estos "nuevos movimientos" tan sorprendentes, a partir de allí denominados rotaciones electromagnéticas, las cuales constituyen el principio del motor eléctrico. [6]

Este descubrimiento marca el principio del funcionamiento de cualquier generador eléctrico, y el generador de la planta de cogeneración no es la excepción, el saber los principios de generación eléctrica da un entendimiento mayor a la utilización de máquinas avanzadas para las cuales fueron hechas. El conocimiento de simples bases abre paso a contemplar todas las variables posibles para la investigación.

2.3.2 Thomas Edison

Edison, nacido el 11 de febrero de 1847 en Milán, Ohio, dejó un legado perdurable que continúa influyendo en la sociedad moderna. Thomas Alva Edison, ampliamente reconocido como uno de los inventores más destacados de la historia, transformó la vida de las personas en todo el mundo mediante invenciones revolucionarias como la bombilla eléctrica y el fonógrafo. Con un asombroso total de 1,093 patentes a su nombre, no solo creó innovaciones trascendentales, sino que también perfeccionó las creaciones de numerosos colegas, incluyendo mejoras notables en dispositivos como el teléfono, la máquina de escribir, el generador eléctrico y la tecnología de imágenes en movimiento.

Edison concentró entonces su atención en perfeccionar la bombilla eléctrica inventada por Joseph Wilson Swan, reemplazando el filamento a base de nitrocelulosa por uno fabricado a partir de ceniza de algodón. La luz eléctrica fue su gran invento, pero para abastecerla por todos los lados, diseñó también la primera planta de potencia eléctrica. [7]

La invención emblemática de Thomas Alva Edison, la bombilla eléctrica, marcó el inicio de una era de iluminación sin precedentes y contribuyó significativamente al avance de la sociedad. Sin embargo, aportó a una etapa de gran avance tecnológico y científico, grandes bases para el mundo moderno.

Además de sus numerosas invenciones, Thomas Alva Edison contribuyó a la investigación estrictamente científica, con el descubrimiento del llamado efecto termoelectrónico (1833), también conocido en la actualidad como efecto Edison, el cual permitiría, años más tarde, el desarrollo del dispositivo electrónico conocido como diodo. [7]

2.3.3 Nikola Tesla

Nikola Tesla, distinguido inventor e ingeniero de origen serbio, se erige como una figura sobresaliente en la historia de la ingeniería eléctrica y la tecnología. Nació el 10 de julio de 1856, en Smiljan, Croacia, Tesla demostró ser un pionero visionario en campos cruciales para el progreso científico.

Edison contrató a Tesla con el fin de que mejorara los diseños de sus generadores de corriente continua, que era el sistema eléctrico que estaba comenzando a utilizarse en ciudades como New York. Pero en aquella época Tesla estaba interesado en la corriente alterna. [8]

En la actualidad, una gran cantidad de los dispositivos que Nikola Tesla investigó adaptó y perfeccionó constituyen la base tecnológica de numerosos avances de los que nos beneficiamos diariamente. Estos incluyen las telecomunicaciones, la radio, el horno de microondas, los ordenadores, las pantallas, la dinamo, el transformador para convertir corriente alterna en corriente continua que se utiliza, por ejemplo, en

los cargadores de móviles y baterías, así como el medidor de corriente, entre muchos otros.

La gran mente de Tesla contribuyó de manera significativa al desarrollo de tecnologías como el sistema de corriente alterna, que es esencial para la transmisión eficiente de electricidad a largas distancias. Entre sus contribuciones más notables se encuentran la invención del motor de corriente alterna y el transformador de Tesla, que son elementos fundamentales en la distribución moderna de energía eléctrica.

2.2 Energía Eléctrica.

La electricidad es la acción que producen los electrones al trasladarse de un punto a otro, ya sea por su falta o exceso de estos en un material. Para que los electrones puedan moverse es necesario que alguna forma de energía se convierta en electricidad. Cuando los electrones fluyen por un cuerpo desde un extremo hacia el otro, se genera la electricidad dinámica o corriente eléctrica. Con la electricidad dinámica obtenemos los efectos como luz, calor, fuerza motriz etc. [9]

También podemos definir a la energía eléctrica es una forma de energía de transición (ni primaria ni final) extremadamente difundida actualmente y cómoda debido a sus posibilidades de conversión (calefacción, iluminación, energía mecánica, etc.) y de transporte. Proviene, en general, de la conversión, en centrales, de energía mecánica por medio de generadores (o alternadores). [10]

Hablar sobre el consumo de la energía eléctrica es algo tan común que puede verse en los recibos y facturas de hogares y empresas, el entendimiento de que es lo que hace a que las cosas funcionen a base de electricidad abre el panorama a dimensionar la importancia que tiene generar esa electricidad, dimensionar todos los usos posibles de la energía crea infinitos escenarios.

La capacidad instalada es la potencia que tiene una central eléctrica para generar electricidad considerando la disponibilidad técnica de sus instalaciones y de los insumos energéticos que serán transformados en electricidad en dichas instalaciones, esta capacidad de generación se mide en mega watts (MW).

En el caso de la generación eléctrica, esta es la cantidad de energía que produce una central durante un periodo de tiempo determinado, y generalmente se mide en giga watts hora (GWh). [11]

2.3 Historia de la CFE

En México, la producción de energía eléctrica comenzó a finales del siglo XIX con la instalación de la primera planta generadora en León, Guanajuato en 1879. Esta planta fue utilizada por la fábrica textil "La Americana" y pronto se extendió su uso en la producción minera, aunque se utilizó muy poco para la iluminación residencial y pública. [12]

En 1889, la primera central hidroeléctrica de Batopilas, ubicada en Chihuahua, inició sus operaciones y amplió sus redes de distribución hacia áreas urbanas y comerciales con mayor capacidad económica de la población.

En la época del gobierno de Porfirio Díaz, se designó al sector eléctrico como un servicio público esencial. Como parte de esta iniciativa, se instalaron las primeras 40 lámparas "de arco" en la Plaza de la Constitución, seguidas de cien más en la Alameda Central. Este proceso marcó el comienzo de la iluminación en la calle Reforma en la Ciudad de México.

En 1937 México tenía 18.3 millones de habitantes, de los cuales únicamente siete millones contaban con electricidad, proporcionada con serias dificultades por tres empresas privadas. Estas empresas eran The Mexican Light and Power Company, de origen canadiense, que operaba en el centro del país; el consorcio The American and Foreign Power Company, en el norte, y la Compañía Eléctrica de Chapala, en el occidente. [12]

Estas tres empresas detentaban las concesiones e infraestructuras de la mayoría de las pequeñas plantas eléctricas, las cuales solo operaban en sus respectivas regiones. En aquel período, las interrupciones en el suministro de electricidad eran frecuentes y las tarifas se encontraban en niveles considerablemente altos.

El 14 de agosto de 1937 se creó la Comisión Federal de Electricidad (CFE) durante la presidencia de Lázaro Cárdenas, a través de la Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de ese mismo mes y año. En dicha ley se señala el objetivo de la dependencia: organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos, sin propósitos de lucro y con la finalidad de obtener, con un costo mínimo, el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales. [13]

A inicios de 2000 se tenía ya una capacidad instalada de generación de 35,385 MW, cobertura del servicio eléctrico del 94.70% a nivel nacional, una red de transmisión y distribución de 614,653 km, lo que equivale a más de 15 vueltas completas a la Tierra y más de 18.6 millones de usuarios, incorporando casi un millón cada año.[12]

En 2013 se promulgó la reforma energética y en el 2016 se dividió a la CFE en 9 Empresas Subsidiarias y 4 Filiales que iniciaron las subastas en el Mercado Eléctrico Mayorista.[12]

La reforma energética de 2013 en México fue un hito significativo que buscaba transformar el sector eléctrico del país. Esta reforma abordó diversos aspectos, desde la apertura del mercado hasta la generación de energía y la participación de inversionistas privados. Uno de los resultados clave de esta reforma fue la reestructuración de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la empresa estatal encargada de la generación, transmisión y distribución de electricidad en México.

En 2016, como parte de la implementación de la reforma, la CFE fue dividida en 9 Empresas Subsidiarias y 4 Filiales. Esta medida tenía como objetivo fomentar la competencia y eficiencia en el sector eléctrico, al permitir que diferentes entidades gestionaran diversas áreas del mercado. Esta fragmentación buscaba crear un entorno más dinámico y propicio para la participación de actores privados en la generación y comercialización de electricidad.

Simultáneamente, se introdujeron las subastas en el Mercado Eléctrico Mayorista. Estas subastas representaron un cambio significativo en la forma en que se asignaban los contratos para la generación de energía, ya que permitían a empresas competir de manera transparente y eficiente para suministrar electricidad. Esto abrió las puertas a la inversión privada y fomentó la diversificación de fuentes de energía en el país.

La CFE provee energía eléctrica a un total de 46 millones de clientes y cada año incorpora un millón de nuevos usuarios. El nivel de electrificación en la CFE es del 98.95% de los habitantes. En 2019 tuvieron lugar 1,587 obras de electrificación rural; en 2020, 1,528; mientras que en 2021 fueron 3,466 las obras de electrificación rural. Su parque de generación está conformado por 158 centrales de generación de distintas tecnologías: ciclo combinado, termoeléctrica, hidroeléctrica, carboeléctrica, turbo gas, combustión interna, nucleoeléctrica (Central Nuclear de Laguna Verde), geo termoeléctrica, Eolo eléctrica y solar fotovoltaica. [12]

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) desempeña un papel crucial en México al proporcionar energía eléctrica a una vasta cantidad de usuarios, con una cobertura que abarca casi el 99% de la población. Este alcance masivo refleja la importancia de la CFE en garantizar el acceso a la electricidad, un componente fundamental para el desarrollo social y económico.

A nivel mundial, la CFE es reconocida como una entidad significativa en el sector eléctrico, tanto por su extensa infraestructura como por su papel en garantizar el suministro eléctrico a una población considerable. Sin embargo, es importante señalar que, al igual que con cualquier entidad de esta magnitud, la percepción puede variar según los diferentes actores y contextos internacionales. En cualquier caso, su contribución a la electrificación y el desarrollo en México es innegable.

2.4 Energías Renovables

Se denomina Energía Renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o por ser capaces de regenerarse por medios naturales. [14]

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar. El principal componente de este sistema es el módulo fotovoltaico, a su vez compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua. El resto de los equipos incluidos en un sistema fotovoltaico depende en gran medida de la aplicación a la que está destinado. A grandes rasgos los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en tres grandes grupos: conectados a red (grid connected), autónomos (off-grid) y de bombeo. [15]

La energía fotovoltaica es un tema central en esta tesis debido a la presencia de una planta de energía solar de 100 MW en la región. Esta planta tiene un impacto significativo en los precios del mercado eléctrico mayorista local. La energía solar fotovoltaica, que convierte directamente la luz solar en electricidad, es una fuente de energía renovable y sostenible. Su implementación a gran escala, como en el caso de la planta de 100 MW, puede influir en los precios del mercado eléctrico al proporcionar una fuente adicional de energía.

2.5 Reforma energética

La Reforma Energética es un conjunto de reformas constitucionales y legales que se llevaron a cabo en México en 2013 y 2014. Propuesta del expresidente Enrique Peña Nieto el 12 de agosto de 2013, aprobado por el senado el 11 de octubre de 2013 y un día después por la cámara de diputados.

La Reforma Energética tiene los siguientes objetivos y premisas fundamentales:

1. Mantener la propiedad de la Nación sobre los hidrocarburos que se encuentran en el subsuelo.
2. Modernizar y fortalecer, sin privatizar, a Petróleos Mexicanos (Pemex) y a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) como Empresas Productivas del Estado, 100% públicas y 100% mexicanas.
3. Reducir la exposición del país a los riesgos financieros, geológicos y ambientales en las actividades de exploración y extracción de petróleo y gas natural.
4. Permitir que la Nación ejerza, de manera exclusiva, la planeación y control del Sistema Eléctrico Nacional, en beneficio de un sistema competitivo que permita reducir los precios de la energía eléctrica.
5. Atraer mayor inversión al sector energético mexicano para impulsar el desarrollo del país.
6. Contar con un mayor abasto de energéticos a mejores precios.

7. Garantizar estándares internacionales de eficiencia, calidad y confiabilidad de suministro energético, así como transparencia y rendición de cuentas en las distintas actividades de la industria energética.
8. Combatir de manera efectiva la corrupción en el sector energético.
9. Fortalecer la administración de los ingresos petroleros e impulsar el ahorro de largo plazo en beneficio de las futuras generaciones.
10. Impulsar el desarrollo, con responsabilidad social y ambiental. [16]

El objetivo principal de la reforma fue modernizar el sector energético del país, sin privatizar las empresas públicas dedicadas a la producción y al aprovechamiento de los hidrocarburos y de la electricidad. La reforma permitió la inversión privada en la exploración y producción de petróleo y gas, así como en la generación de energía eléctrica.

A lo largo de ambos sexenios en lo que lleva la Reforma Energética han tenido ajustes, diferentes apoyos o impedimentos a inversión extranjera, Mota Palomino ahondó en que se privilegió el crecimiento de la oferta privada de energía eléctrica en el país en el sexenio pasado y ahora se tiene un sobre equipamiento de generación en algunas zonas del país como el noreste y el occidente.[17]

El 1 de febrero de 2021, López Obrador mandó al Congreso de la Unión una iniciativa para reformar la Ley de la Industria Eléctrica (LIE); tanto diputados como senadores aprobaron el cambio sin discusión en tiempo récord.

Para el 9 de marzo, un mes después, el decreto de reforma a la LIE se publicó en el Diario Oficial de la Federación y encendió las alarmas entre la iniciativa privada, las ONG que luchan contra el cambio climático, la academia y expertos.

Lo que más causó controversia fue el cambio en el orden de despacho de energía por centrales eléctricas, poniendo en primer lugar las hidroeléctricas, termoeléctricas y carboeléctricas de la CFE, así como los ciclos combinados de productores independientes (PIE) que tienen contratos con la Empresa Productiva del Estado. Tras esas plantas, se daría paso a los privados con energías eólica y solar, y en el último lugar, los ciclos combinados de éstos. [18]

Adicionalmente, la propuesta incluye la disposición de rescindir contratos de compraventa de electricidad y revocar permisos de generación actualmente detentados por el sector privado. Asimismo, contempla la abolición de la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y la Comisión Nacional de Hidrocarburos, entidades encargadas de la regulación en sus respectivos ámbitos.

En tanto que la iniciativa privada ha estimado que la reforma eléctrica de López Obrador va a dejar un boquete en las finanzas públicas de 1.4 billones de pesos en una década. [18]

La reforma eléctrica de López Obrador ha sido objeto de controversia en México. La iniciativa busca fortalecer a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y limitar la participación de privados en el sector eléctrico. [18]

Varios casos obtuvieron suspensiones definitivas con efectos generales contra la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), pero algunas comenzaron a revocarse en el segundo semestre del año tras los recursos de revisión presentados por la Secretaría de Energía (Sener) que encabeza Rocío Nahle y la CFE que dirige Manuel Bartlett Díaz

Como menciona Tapia, “El sistema eléctrico nacional requiere el ajustar nuevamente esta capacidad de la red de transmisión con la oferta de generación que tenemos instalada y además tomar cuenta del crecimiento el mercado”. [17]

Finalmente, el funcionario Mota Palomino aseguró que esta administración terminará según lo previsto con una participación de 54% de la CFE en generación y de los privados de 46%. [17]

Según Laynez considera que “Las disposiciones no pueden justificarse bajo la idea de que se trata de actividades estratégicas, pues atentan contra el principio de sustentabilidad y de competencia económica y libre concurrencia”, argumenta el documento, sobre las restricciones al mercado de generación de energía eléctrica. [19]

En resumen, la reforma eléctrica de López Obrador ha generado controversia y ha sido objeto de críticas por parte de la iniciativa privada, las ONG y expertos. La CFE ha señalado que la reforma busca fortalecer a la empresa y reducir las pérdidas por energía propia no despachada y por la compra a privados. Sin embargo, la iniciativa privada ha estimado que la reforma va a dejar un boquete en las finanzas.

2.6 Eficiencia energética

En la actualidad la crisis energética, económica y medioambiental la eficiencia energética funge un papel importante para responder a estos tres desafíos el ahorro de energía conlleva ahorrar recursos económicos, pospone el agotamiento de los recursos fósiles y puede ser una de las mejores opciones para la meta de reducir emisiones de CO₂.

Si bien el ahorro de consumo de energía no es crítico para solucionar el cambio climático, es un aporte de una gran cantidad de emisiones, el consumo de la electricidad está fuertemente ligado a las emisiones de CO₂. [20]

La eficiencia energética sigue estando subutilizada debido a barreras políticas, técnicas y financieras. Los países y las instituciones de desarrollo como el grupo banco mundial han comprobado que para implementar con éxito programas de eficiencia energética a escala se requiere un compromiso a largo plazo. El financiamiento debe adecuarse a los mercados locales, y estar respaldado por políticas, regulaciones y en algunos casos incentivos adecuados. [21]

2.7 Cogeneración

Cogeneración significa la producción simultánea de dos o más tipos de energía, normalmente las energías generadas son electricidad y energía térmica tanto calor o frío.

La termodinámica obliga a la evacuación de una cierta cantidad de calor en todo proceso de producción de electricidad, ya que todo el calor absorbido no puede transformarse en trabajo, el objetivo de la cogeneración es que no se pierda esta gran cantidad de energía térmica. [22]

En la planta de cogeneración por sus siglas en inglés CHP (Combined Heat and Power) se ocupa como fuente primaria el gas natural, y se genera vapor como energía secundaria, este tipo de uso eficiente en la energía ofrece numerosas ventajas desde diversos puntos de vista.

En el plano económico, permite una reducción global de hasta 30% en el costo de producción según investigaciones. De igual manera, aumenta la disponibilidad y la confiabilidad del abasto energético en la industria. disminuye la demanda de electricidad del servicio público, se libera la empresa de dicha demanda y puede destinar la demanda a otro consumidor. [23]

Unos puntos por estudiar y desarrollar que en este documento se llevaran a cabo son:

El desarrollo de mercados y tecnologías de la cogeneración (CHP), junto con el análisis de las oportunidades para acceder a nichos de mercado para la cogeneración.

Y también el análisis de la generación distribuida (hoja de cálculo para medir los beneficios de la cogeneración en emisiones evitadas, selección de herramientas preliminares). [23]

2.8 CENACE

El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) es un organismo público descentralizado cuyo objeto es ejercer el Control Operativo del Sistema Eléctrico Nacional, la operación del Mercado Eléctrico Mayorista y garantizar imparcialidad en el acceso a la Red Nacional de Transmisión y a las Redes Generales de Distribución.

Como operador independiente del sistema realiza las funciones bajo sus principios de eficiencia, transparencia y objetividad, cumpliendo los criterios de calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad en la operación y control de sistema eléctrico nacional.

Realiza la operación del Mercado Eléctrico Mayorista en condiciones que promueven la competencia, la eficiencia e imparcialidad, mediante la asignación y despacho óptimos de las Centrales Eléctricas para satisfacer la demanda de energía del Sistema Eléctrico Nacional.

Es responsable de formular los programas de ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión y de las Redes Generales de Distribución, los cuales en caso de ser autorizados por la secretaria de Energía (SENER) se incorporan al Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN). [24]

2.9 SENER

La Secretaría de Energía (SENER) tiene como propósito conducir la política energética del país, dentro del marco constitucional vigente, mediante los instrumentos que apoyen a garantizar el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente variable y ambientalmente sustentable de energéticos que requiere el país.

La visión de la SENER es lograr que el sector energético sea para el desarrollo nacional, logrando una población con acceso pleno a los insumos energéticos, a precios competitivos, con empresas públicas y privadas de calidad, operando dentro de un marco legal y regulatorio adecuado. Con un firme impulso al uso eficiente de la energía, la investigación y desarrollo tecnológico. Con una amplia promoción al uso de energías alternativas, con seguridad de abasto, con el objeto de cumplir las metas de la agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: 7.1 garantizar el acceso universal a servicios de energía asequibles, confiables y modernos y 7.2 Aumentar sustancialmente el porcentaje de la energía renovable en el conjunto de fuentes de energía.

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía normará e instrumentará programas, proyectos y acciones, con la participación de los sectores público, privado y social, orientados al aprovechamiento sustentable de la energía y a la promoción del uso eficiente en el ámbito doméstico, industrial, agrícola y de transporte. Fortalecerá en los diversos niveles de gobierno el cumplimiento a las acciones previstas en los programas de eficiencia energética. Asimismo, en lo

relativo a las Estrategias de sustentabilidad ambiental, impulsará las tecnologías limpias incluyendo la energía renovable en todos los ámbitos de la actividad económica y social, impulsando la adopción de estándares internacionales de emisiones de gases de efecto invernadero. [25]

2.10 CRE

La Comisión Reguladora de Energía (CRE) es una dependencia de la Administración Pública Federal centralizada, con carácter de Órgano Regulador Coordinado en Materia Energética. La CRE está dotada de autonomía técnica, operativa y de gestión, y cuenta con personalidad jurídica propia y capacidad para disponer de los ingresos que deriven de las contribuciones y contraprestaciones establecidas por los servicios que preste conforme a sus atribuciones y facultades.

El 11 de diciembre 2013, bajo el mandato del presidente Enrique Peña Nieto, se aprobó la Reforma Energética, misma que tuvo la finalidad de fortalecer el sistema energético de México y colocar al país de forma competitiva en el panorama internacional energético. La Reforma propuso la actualización de los artículos 5, 27 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Lo anterior se reflejó primordialmente en la construcción de un nuevo marco regulatorio, sobre el cual recaen la publicación de 21 leyes secundarias, 24 reglamentos y 1 ordenamiento. Estos cambios dieron origen a un nuevo arreglo institucional que implicó la creación de un fondo y tres instituciones, el fortalecimiento de los órganos reguladores y la transformación de las empresas estatales de hidrocarburos y electricidad. [26]

La CRE se define a sí misma como un organismo "transparente, eficiente y altamente calificado, cuyas decisiones autónomas establecen un entorno regulatorio eficaz, participativo y confiable para el sector energético en México". Su objetivo es fomentar el desarrollo eficiente de la industria, promover la competencia en el sector, proteger los intereses de los usuarios, propiciar una adecuada cobertura nacional y atender a la confiabilidad, estabilidad y seguridad en el suministro y la prestación de los servicios.

2.11 Mercado Eléctrico Mayorista (MEM)

Hasta 2014 en México la Comisión Federal de Electricidad era quien compraba y vendía exclusivamente la energía eléctrica para el servicio público del país. A partir de 2016 en el MEM, se compran y venden productos como:

- Energía
- Potencia
- Certificados de Energía Limpia
- Servicios Conexos
- Derechos Financieros de Transmisión

Los interesados en participar en el mercado eléctrico lo pueden hacer bajo seis modalidades como:

- Generador
- Usuario calificado
- Suministrador de servicios básicos
- Suministrador de servicios calificados
- Suministrador de último recurso
- Comercializador no suministrados

Siempre y cuando cumplan los requisitos que marca la ley para ser participantes del Mercado.

Dentro del MEM, los participantes tienen la opción de participar en:

- Mercado de Corto Plazo
 - Mercado del Día en Adelanto
 - Mercado de Tiempo Real
- Mercado de Balance de Potencia
- Mercado de Certificados de Energía Limpia
- Subastas de Mediano y Largo Plazo
- Derechos Financieros de Transmisión

Gracias a este sistema de Mercado se mantiene una óptima operación donde se garantiza la energía eléctrica. [27]

Un generador es un permisionario que cuenta con centrales eléctricas que generan más de 0.5W. Los generadores participan directamente en el MEM, donde venden día a día su electricidad. De igual forma, pueden participar en las subastas de largo plazo que se realizan para asegurar el suministro a los suministradores y realizar contratos con usuarios calificados y suministradores de servicios calificados para vender su electricidad y productos asociados.

El usuario calificado es aquel que cuenta con grandes centros de carga (más de 2MW hasta agosto de 2016 y de más de 1MW a partir de esa misma fecha) que decida registrarse como Usuario Calificado ante la CRE, o aquellos centros de carga al amparo de contratos legados. Los usuarios calificados tienen la libertad de participar en el MEM ya sea directamente, o a través de un suministrados de servicios calificados. Participar en el mercado implica que pueden comprar electricidad en el mercado de día en adelante o en el mercado en tiempo real, así como firmar contratos con generadores que les permitan adquirir electricidad a un precio pactado.

Los Usuarios Básicos son todos aquellos usuarios que no se encuentran registrados ante la CRE como Usuarios Calificado. Los Usuarios Básicos no pueden participar en el MEM y, por lo tanto, requieren comprar su electricidad de los Suministradores

de Servicios Básico. El precio que pagan estos usuarios por la electricidad es un precio regulado. [28]

Suministradores de servicios Básicos (SSB) son suministradores que llevan el servicio eléctrico a todos los usuarios que no participan en el MEM. Su diferencia a cerca de los suministradores de servicios calificados es que:

- Venden su electricidad a precios regulados
- Los contratos de cobertura eléctrica se llevan a cabo de subastas de mediano y largo plazo.
- Cualquier Usuario que requiera el servicio debe ser atendido. Para lo anterior podrán acceder al Fondo de Servicio Universal Eléctrico.

2.11.1 Elementos del Mercado de Energía de Corto Plazo

El Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) es un sistema complejo que opera bajo principios específicos para garantizar la eficiencia y la transparencia en la negociación de energía eléctrica. Uno de los pilares fundamentales de este mercado es la individualidad en las ofertas presentadas por los Participantes del Mercado. Conforme a la base 9 “Todas las ofertas de los participantes del Mercado deberán realizarse individualmente para cada hora del Día de Operación” [29].

Cada participante está obligado a presentar ofertas detalladas para cada hora del Día de Operación. Esta práctica permite adaptar las ofertas a las variaciones de la demanda y la oferta durante el día, optimizando así la asignación de recursos y asegurando un suministro eléctrico confiable a nivel nacional.

El proceso de comunicación entre el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) y los Participantes del Mercado es crucial para la operación fluida del sistema eléctrico. Las instrucciones de despacho, que indican a las centrales eléctricas cuánta energía deben generar en momentos específicos, son transmitidas de manera precisa y oportuna a través del Registro de Instrucciones de Despacho (RID). Este sistema de registro garantiza la trazabilidad y la integridad de las instrucciones emitidas, estableciendo así un marco confiable para la ejecución de las operaciones en el mercado eléctrico.

En resumen, la individualidad en las ofertas y la rigurosa aplicación del Registro de Instrucciones de Despacho son elementos esenciales para mantener la estabilidad y la eficiencia en el Mercado Eléctrico Mayorista. Estos procesos no solo cumplen con las regulaciones establecidas, sino que también respaldan la confiabilidad del suministro eléctrico en México, contribuyendo así a un sector energético robusto y sostenible para el país.

Dentro de esta categoría del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), se sitúa la planta de cogeneración que constituye el escenario central de la presente investigación. Esta instalación opera en estricto apego a los principios fundamentales que rigen el

MEM, los cuales destacan la necesidad de presentar ofertas individualizadas para cada hora del Día de Operación, conforme a lo establecido en la base 9 del marco normativo.

2.11.2 Ofertas, Instrucciones y Liquidaciones de las Centrales Eléctricas

En el Diario Oficial de la Federación (DOF) se establecen disposiciones cruciales para la operación eficiente y transparente del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) en México, que son esenciales para entender el marco regulador de este sistema energético complejo. Según el DOF:

(a) Ofertas de Generadores:

Todas las ofertas de los Generadores se harán en términos de energía neta inyectada al Sistema Eléctrico Nacional, excluyendo la energía dedicada a usos propios dentro de las Centrales Eléctricas. Esta práctica garantiza que las ofertas reflejen únicamente la energía disponible para la red eléctrica.

La presentación detallada de ofertas para cada hora del Día de Operación, en conformidad con las disposiciones de la base 9 del marco normativo, no solo se ajusta a los lineamientos establecidos, sino que también asegura la capacidad de la planta de adaptarse dinámicamente a las fluctuaciones del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) a lo largo del día. Esta adaptabilidad resulta esencial para optimizar la asignación de recursos, en este caso el gas natural.

(b) Pronósticos de Demanda:

Los pronósticos de demanda realizados por el CENACE no tendrán en cuenta los usos propios dentro de las Centrales Eléctricas como parte de la demanda. Esto asegura que las proyecciones de demanda reflejen las necesidades reales del mercado eléctrico.

(c) Modelos Matemáticos:

Los modelos matemáticos utilizados en el Mercado Diario (MDA) y el Mercado de Tiempo Real (MTR) proporcionarán soluciones en términos de energía neta inyectada y retirada, lo que respalda una asignación precisa de recursos.

(d) Instrucciones de Despacho y RID:

Las instrucciones de despacho, publicadas en el Sistema de Instrucciones de Despacho (RID) y enviadas a los sistemas EMS/SCADA, se emitirán en términos de energía neta. Además, se establece la posibilidad de convertir estos valores a términos de energía bruta utilizando factores de usos propios para cada Unidad, lo que proporciona flexibilidad en la gestión operativa.

(e) Liquidaciones del MEM:

Finalmente, las liquidaciones del Mercado Eléctrico Mayorista se llevarán a cabo en términos de energía neta, lo que establece un estándar uniforme para el proceso de liquidación y asegura transparencia en las transacciones.[29]

2.11.3 Herramientas auxiliares del mercado

Portal del Mercado del CENACE. Permite a los Participantes del Mercado realizar ofertas para recursos de generación y Recursos de Demanda Controlable, ofertas de compra y ofertas de venta, así como ofertas de compra y ofertas de venta virtuales. [29]

El Portal del Mercado del CENACE, al permitir estas transacciones fundamentales, no solo facilita la participación de los involucrados en el mercado, sino que también promueve la transparencia y la eficiencia en cada interacción. Llevar un registro de las centrales eléctricas permiten un mercado en el que a todos se les pueda satisfacer de la mejor manera.

Software de Programación Física (SPFis). Permite procesar las Transacciones de Importación y Exportación que entran o salen del Sistema Eléctrico Nacional. El software de programación física se utiliza para procesar Transacciones de Importación y Exportación para programar importaciones o exportaciones y validar cada transacción conforme a las reglas de transacción. Los Participantes del Mercado utilizarán una Etiqueta Electrónica para presentar Transacciones de Importación y Exportación una vez que dicho programa haya sido aceptado en el Mercado del Día en Adelanto o en el Mercado de una Hora en Adelanto.[29]

A) Facilitar la Comunicación con los Operadores del CENACE:

Este aspecto del software se encarga de transmitir de manera efectiva los resultados del mercado. Estos resultados son fundamentales ya que determinan las posiciones de importación o exportación asignadas a los participantes. La herramienta asegura que los operadores del CENACE reciban esta información de manera clara y precisa, permitiéndoles tomar decisiones informadas sobre la implementación de las etiquetas electrónicas correspondientes.

(B) Garantizar la Integridad de las Transacciones en los Estados de Cuenta:

Otro aspecto crucial es su función en el sistema de liquidaciones del CENACE. Esta función se encarga de comunicar qué Etiquetas Electrónicas han sido implementadas. Esta comunicación es esencial para que las transacciones se reflejen de manera adecuada en los estados de cuenta de los Participantes del Mercado. Así, se asegura la integridad y precisión en los registros financieros, facilitando una gestión financiera transparente y fiable para todas las partes involucradas.

Software de Programación Financiera (SPFin). Esta aplicación permite a los Participantes del Mercado crear Transacciones Bilaterales Financieras y Transacciones Bilaterales de Potencia. [29]

El SPFin, al proporcionar esta funcionalidad avanzada, no solo simplifica el proceso de creación y gestión de transacciones bilaterales, sino que también fortalece la capacidad de los participantes para tomar decisiones informadas y estratégicas. Al hacerlo, se consolida como una herramienta esencial para la dinámica operativa del Mercado Eléctrico Mayorista.

2.11.4 Contratos de Cobertura Eléctrica

Los Contratos de Cobertura Eléctrica, son acuerdos celebrados directamente entre Participantes del Mercado, mediante los cuales adquieren el compromiso de compraventa de una cantidad determinada de energía eléctrica o productos asociados, en una hora y fecha futura específica o la realización de los pagos basados en los precios de estos. Estos contratos reducen la incertidumbre de los precios de mercado al firmar acuerdos bilaterales para fijar el precio del producto durante un tiempo determinado. [30]

2.11.5 Componentes de los Precios Marginales Locales (PML)

El cálculo de los Precios Marginales Locales (PML) en el Mercado Eléctrico Mayorista es un proceso complejo que involucra varios componentes cruciales para la asignación eficiente de recursos. Estos precios, que se calculan para cada NodoP, son fundamentales para determinar el valor de la energía en puntos específicos de la red eléctrica. El algoritmo utilizado en el despacho económico del mercado incorpora tres componentes esenciales:

(i) Componente de Energía Marginal:

Este componente del algoritmo de despacho económico calcula el precio marginal de la energía en función de la oferta y la demanda en cada NodoP. Refleja el costo adicional de generar una unidad adicional de energía en ese punto específico de la red. Este precio es crucial para incentivar a los generadores a producir energía donde más se necesita, equilibrando así la oferta y la demanda de manera eficiente.

(II) Componente de Congestión Marginal:

El componente de congestión marginal tiene en cuenta la congestión en las líneas de transmisión entre diferentes nodos del sistema eléctrico. Cuando hay una demanda alta en un área y limitaciones en las líneas de transmisión, se crea congestión. Este componente calcula el costo adicional asociado con la congestión, incentivando la inversión en infraestructura para aliviar los cuellos de botella y mejorar la eficiencia del sistema.

(III) Componente de Pérdidas Marginales:

Las pérdidas de energía durante la transmisión son inevitables y varían según la distancia entre los puntos de generación y consumo. El componente de pérdidas marginales cuantifica estas pérdidas adicionales en cada NodoP. Los precios marginales de pérdidas reflejan el costo adicional asociado con la transmisión de energía a largas distancias, alentando la generación de energía más cerca de los puntos de consumo para minimizar las pérdidas.

Este análisis detallado de los Precios Marginales Locales subraya la sofisticación del sistema de mercado eléctrico, que tiene en cuenta una gama compleja de factores para determinar precios específicos en diferentes ubicaciones de la red. Este conocimiento profundo es esencial para los participantes del mercado, ya que les permite tomar decisiones informadas sobre la producción y el consumo de energía, optimizando así el rendimiento económico y operativo en el Mercado Eléctrico Mayorista.

“El cálculo del Precio Marginal Local deberá incluir a todas las Unidades de Central Eléctrica despachables, incluyendo aquéllas que deben ser despachadas manualmente (sin capacidad de Control Automático de Generación).” [29]

La inclusión de todas las Unidades de Central Eléctrica, incluso aquellas que requieren ser despachadas manualmente sin capacidad de Control Automático de Generación, en el cálculo del Precio Marginal Local (PML) resalta la importancia de un enfoque equitativo y completo en el Mercado Eléctrico Mayorista. Esta directriz asegura que todas las instalaciones, independientemente de su capacidad de automatización, sean consideradas en la determinación de los precios locales de energía. Al incorporar estas unidades en el cálculo del PML, se garantiza una representación precisa y justa de la oferta y la demanda en el mercado, fomentando así una competencia leal y transparente.

Este enfoque inclusivo no solo promueve la igualdad de oportunidades para los participantes del mercado, sino que también contribuye a la estabilidad y la confiabilidad del suministro eléctrico al considerar todas las capacidades de generación disponibles en el proceso de fijación de precios.

2.11.6 Certificados de Energías Limpias

El Mercado Eléctrico Mayorista es un mercado de costos variables, lo que implica que las energías con menor costo variables son las primeras en ser despachadas al Sistema Eléctrico Nacional. Las centrales generadoras de energías limpias generalmente tienen un costo de producción menor a las generadoras a base de energías fósiles. Esto implica que las energías más baratas como son las renovables seguidas de las energías limpias se vean apoyadas para su crecimiento de capacidad instalada en México.

El factor de promover es la compra – venta de Certificados de Energías Limpias representa un ingreso adicional para los generadores limpios.

Los Certificados de Energías Limpias (CEL) son títulos emitidos por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) que acreditan la producción de un monto determinado de energía eléctrica a partir de Energías Limpias y que sirve para cumplir los requisitos asociados al consumo de los Centros de Carga. [31]

Los participantes del MEM se les permite vender y adquirir los CEL en un mercado spot con el objetivo de que los participantes (Usuarios Calificados y Suministradores), están obligados a un porcentaje de la energía eléctrica que consumen provenga de fuentes limpias, para comprobarlo deben adquirir CEL por el monto requerido por la Secretaría de Energía. Para el 2022 el Requisito de CEL era del 13.9%. [31]

Los CEL son instrumentos del mercado, los participantes podrán presentar ofertas para venderlos a cualquier precio, así como presentar ofertas para comprar. Su precio del CEL no es fijo, varía en cuestión de la oferta y demanda, su compra – venta podrá realizarse a través del mercado de CEL que organiza una vez al año el CENACE y también podrán comercializarse libremente mediante contratos bilaterales o subastas a largo plazo.

La planta de cogeneración situada en Perote, Veracruz, ha obtenido un Certificado de Energía Limpia (CEL), un título emitido por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) de México. Este certificado acredita la producción de energía eléctrica a partir de fuentes limpias.

La posesión de un CEL por parte de la planta de cogeneración de Perote tiene varias implicaciones y beneficios significativos. En primer lugar, ayuda a la planta a cumplir con los requisitos asociados al consumo de los Centros de Carga, garantizando un porcentaje de electricidad proveniente de fuentes limpias para los usuarios finales. En segundo lugar, los CEL incentivan el uso de tecnologías limpias para la generación de energía eléctrica, incluyendo energía eólica, solar, oceánica, geotérmica, bioenergéticos, entre otros.

2.11.7 Mercado de Energía de Corto Plazo (MECP)

El objetivo del MTR es ajustar las diferencias entre las transacciones realizadas en el MDA y las condiciones del mercado que se observan en tiempo real. Los participantes del Mercado buscan satisfacer los últimos incrementos de la demanda que no se cubrieron en la planeación diaria, es decir, en el MDA. En esta etapa se ejecutan diversos modelos de optimización: el modelo AU-TR, el modelo DERS-MI con el cual se determinan los precios de la energía y de servicios conexos que se utilizaran para liquidar las transacciones de este mercado y el modelo DERS-I. [32]

Su participación en el MECP es un testimonio de la posibilidad de unir la generación de energía con el cuidado del planeta, y sirve como un modelo a seguir para otras plantas de energía en el país.

2.11.8 Ofertas de Ventas

“Las ofertas de venta serán presentadas por los representantes de las Unidades de Central Eléctrica con la finalidad de vender energía y Servicios Conexos en el Mercado de Energía de Corto Plazo.” [29]

Los representantes, actuando como intermediarios vitales entre la producción y el mercado, tienen la responsabilidad de ofrecer no solo energía, sino también Servicios Conexos, contribuyendo así a la estabilidad y confiabilidad del suministro eléctrico a nivel nacional. Estas ofertas no solo reflejan la oferta y la demanda en términos monetarios, sino que también encapsulan la complejidad técnica y operativa de la industria eléctrica, jugando un papel esencial en la optimización de la red y la satisfacción de las necesidades energéticas de la sociedad.

2.11.9 Transacciones Bilaterales Financieras

Las Transacciones Bilaterales Financieras permiten a dos Participantes del Mercado transferir la responsabilidad financiera de la energía o de los Servicios Conexos incluidos en el mercado entre ellos. [29]

Estas transacciones tienen la función de facilitar la liquidación de los contratos de las coberturas eléctricas que se dan entre los participantes del Mercado de Energía ayuda a generar una competencia sobre el precio de la energía y que usuarios calificados puedan adquirir un beneficio de un mejor costo de servicios conexos o energía.

Las Reglas de las Transacciones Bilaterales Financieras constituyen un aspecto fundamental del Mercado de Energía de Corto Plazo. En este contexto, estas transacciones representan acuerdos financieros realizados en puntos específicos del mercado eléctrico. Un emisor, que puede ser un vendedor de energía o servicios

relacionados, transfiere sus derechos de cobro a un adquiriente, que actúa como comprador en la transacción.

La simplicidad y flexibilidad son puntos clave en este proceso. El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) facilita esta operación: cobra al vendedor y acredita al comprador por la cantidad de energía o servicios acordados. Esta cantidad está determinada por el precio de mercado en ese momento específico. Lo notable es que el CENACE no necesita conocer los detalles específicos del contrato que originó la transacción. Este enfoque sin complicaciones agiliza las transacciones y fomenta la participación en el mercado eléctrico.

Esta estructura tiene un impacto significativo en la dinámica del mercado. Permite a los participantes gestionar sus riesgos financieros, ofreciendo una forma segura de participar en el mercado eléctrico sin la necesidad de una comprensión detallada de los contratos subyacentes. Además, esta simplicidad fomenta la confianza en el mercado, facilitando la inversión y el comercio en el sector energético. En resumen, las Transacciones Bilaterales Financieras como se observa en la Figura 1, no solo simplifican el proceso para los participantes, sino que también promueven la eficiencia y la confiabilidad en las operaciones del mercado eléctrico.

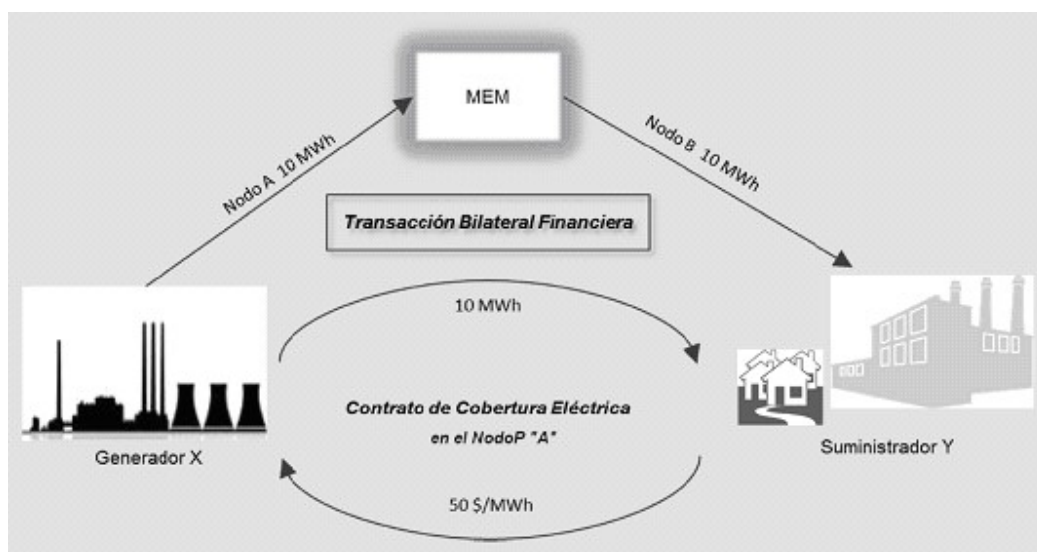


Figura 2. Transacción Bilateral Financiera [33]

Las Transacciones Bilaterales Financieras se presentan en dos tipos fundamentales:

A) Transacciones Bilaterales Financieras Fijas:

Este tipo implica un acuerdo para un número específico de Mega Watts hora (MWh) de energía. Estas transacciones pueden presentarse tanto en el Mercado del Día en Adelanto como en el Mercado de Tiempo Real. Estas transacciones no se acumulan del Mercado del Día en Adelanto al Mercado de Tiempo Real, lo que

significa que las cantidades acordadas no se trasladan o suman de un mercado al otro. Este tipo de transacciones brinda una estructura predecible y fija para las partes involucradas, lo que facilita una gestión más controlada de la energía.[33]

B) Transacciones Bilaterales Financieras Referenciadas:

En este caso, la cantidad de energía no se especifica directamente, sino que se define como un porcentaje de la energía generada en una Unidad de Central Eléctrica o consumida en un Centro de Carga. Estas transacciones solo se aplican en el Mercado de Tiempo Real. Además, las partes que participan en este tipo de transacciones deben indicar una cantidad estimada para fines de asignación de responsabilidades de garantías. Las Transacciones Bilaterales Financieras Referenciadas proporcionan flexibilidad, ya que el volumen de energía está vinculado a la producción o el consumo reales, permitiendo a las partes adaptarse a las variaciones en la oferta y la demanda en tiempo real.

Estos dos tipos de transacciones ofrecen enfoques diferentes para la gestión de la energía en el mercado eléctrico, brindando a los participantes opciones variadas para adaptarse a sus necesidades específicas y condiciones del mercado. La comprensión de estas modalidades es esencial para los actores del mercado, ya que les permite tomar decisiones informadas y estratégicas en su participación en las operaciones del Mercado de Energía de Corto Plazo.

2.11.10 Pronósticos de generación firme no despachable.

Los representantes de las Centrales Eléctricas firmes no despachables están obligados a presentar pronósticos de generación de energía eléctrica por hora al CENACE:

(i) antes de las 9:00 horas de cada día para al menos los siguientes 7 días o un periodo mayor a solicitud del CENACE; y,

(II) en cualquier momento si ocurre un cambio significativo en los pronósticos descritos en el punto anterior, para al menos los siguientes 7 días o un periodo mayor a solicitud del CENACE. [29]

El pronóstico de generación firme no despachable tiene una importancia crítica para el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) por varias razones fundamentales:

Planificación Operativa:

Los pronósticos permiten al CENACE planificar la operación del sistema eléctrico de manera más efectiva. Conociendo con anticipación la cantidad de energía que se espera generar desde las plantas firmes no despachables, el CENACE puede coordinar la operación de la red eléctrica para asegurar que la oferta de energía satisfaga la demanda en todo momento.

Estabilidad del Sistema:

La generación firme no despachable, proveniente principalmente de fuentes como plantas de cogeneración, representa una parte importante del suministro energético. Conociendo los pronósticos de estas plantas, el CENACE puede tomar medidas para mantener la estabilidad del sistema eléctrico, evitando posibles desbalances entre la oferta y la demanda que podrían causar interrupciones en el suministro eléctrico.

Optimización de Recursos:

Con los pronósticos precisos, el CENACE puede optimizar la utilización de los recursos disponibles, incluyendo la capacidad de transmisión y la generación de otras fuentes. Esto asegura que se aprovechen al máximo los recursos existentes, reduciendo así los costos operativos y mejorando la eficiencia del sistema eléctrico.

Integración de Energía Renovable:

En muchos sistemas eléctricos, la generación firme no despachable se utiliza para complementar la energía proveniente de fuentes renovables intermitentes, como la solar y la eólica. Al conocer los pronósticos de generación firme, el CENACE puede coordinar la integración de estas fuentes de energía renovable de manera más efectiva, equilibrando la variabilidad de estas fuentes con la estabilidad de la generación firme.

Cumplimiento Normativo:

Los pronósticos de generación firme no despachable son esenciales para cumplir con las regulaciones y normativas del mercado eléctrico. Los participantes del mercado, incluyendo el CENACE, deben cumplir con los requisitos establecidos por las autoridades reguladoras, lo que incluye la presentación precisa de los pronósticos de generación.

2.11.11 Mercado del Día en Adelanto (MDA)

Para cada hora del Día de Operación correspondiente y para cada NodoP, el CENACE calcula los Precios Marginales Locales (PML) y los Precios en Nodos Distribuidos (PND) del Mercado del Día en Adelanto y sus componentes: energía, congestión y pérdidas.

De igual forma, para cada hora del Día de Operación correspondiente y para cada Zona de Reserva, el CENACE calcula los Precios de Servicios Conexos (PSC) del Mercado del Día en Adelanto. [34]

El despacho económico del Mercado del Día en Adelanto se realizará por el CENACE juntamente con la Asignación de Unidades de Central Eléctrica en el Mercado del Día en Adelanto. El CENACE calculará los precios que se usarán en la liquidación del Mercado del Día en Adelanto de forma consistente con las cantidades programadas para el despacho del Mercado del Día en Adelanto.[29]

Asignación y despacho

La asignación y despacho de Unidades de Central Eléctrica en el Mercado del Día en Adelanto se sujetará a lo siguiente:

- **Establecimiento del Plan por el CENACE:**
El CENACE establece el plan de asignación y despacho en un solo paso durante el día anterior al Día de Operación.
- **Maximización del Excedente Económico:**
El objetivo principal de este proceso es maximizar el excedente económico total. Esto se logra equilibrando las inyecciones y retiros de energía eléctrica en el Sistema Eléctrico Nacional. Además, se asegura que haya suficiente generación disponible para satisfacer la demanda, cumpliendo con los Criterios de Confiabilidad establecidos por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) a través del Código de Red, lo que incluye la provisión de Servicios Conexos.
- **Disponibilidad Basada en Ofertas de los Participantes:**
La disponibilidad de las Unidades de Central Eléctrica, incluyendo los programas de generación intermitente, se basa en las ofertas presentadas por los Participantes del Mercado que las representan. Del mismo modo, la disponibilidad de los Recursos de Demanda Controlable se determina según las ofertas de los Participantes del Mercado que los representan.
- **Modelización de la Demanda y Requisitos de Servicios Conexos:**
La demanda se modela como ofertada, no pronosticada, por el CENACE. Los requisitos de Servicios Conexos se calculan a partir de la demanda modelada y de la penetración de generación intermitente.
- **Inclusión de Ofertas Virtuales:**

Las ofertas de compra y venta virtuales también se incluyen en este proceso, permitiendo una mayor flexibilidad y opciones para los Participantes del Mercado.

- **Co-Optimización de Transacciones de Importaciones y Exportaciones:**
Las ofertas para Transacciones de Importaciones y Exportaciones de los Participantes del Mercado se co-optimizan en la asignación y el despacho de Unidades de Central Eléctrica. Esto asegura una gestión eficiente de las transacciones internacionales de energía eléctrica.
- **Utilización de un Modelo de Red Completa:**
Para una mayor precisión en la asignación y el despacho, se utiliza un modelo de red completo que incluye las pérdidas de energía en la transmisión y distribución.

2.11.12 Mercado de Tiempo Real (MTR)

El Mercado de Tiempo Real se implementará mediante el uso de programas de aplicación en tiempo real para ejecutar el despacho económico y reasignación de unidades con restricciones de seguridad que el CENACE utilizará para la operación del mercado. [29]

El Mercado de Tiempo Real constituye el núcleo dinámico del sistema eléctrico, donde la demanda y la oferta de energía eléctrica se encuentran en un constante equilibrio. Este mercado es impulsado por programas de aplicación en tiempo real, una sofisticada tecnología que permite la ejecución del despacho económico y la reasignación de unidades con restricciones de seguridad. Estos programas, desarrollados con precisión técnica, son fundamentales para la operación cotidiana del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), la entidad encargada de coordinar todas las operaciones en el mercado eléctrico nacional.

En este entorno altamente dinámico, las decisiones tomadas en el Mercado de Tiempo Real tienen un impacto inmediato en la infraestructura eléctrica del país. La capacidad de respuesta instantánea a las variaciones en la demanda eléctrica es esencial para mantener la estabilidad y la confiabilidad del sistema. Los programas de aplicación en tiempo real permiten la optimización continua, asegurando que las unidades de generación sean asignadas y reasignadas de manera eficiente para satisfacer la demanda en constante cambio.

Los Participantes del Mercado que representan Unidades de Central Eléctrica y Recursos de Demanda Controlable deben notificar de inmediato al CENACE de cualquier cambio en la disponibilidad o en los planes operativos de sus recursos para el Día de Operación. [29]

La información actualizada sobre la disponibilidad de las Unidades de Central Eléctrica y los Recursos de Demanda Controlable permite una distribución más precisa y equitativa de los recursos disponibles en el sistema. Esto se traduce en

una optimización de la generación y la demanda, lo que a su vez maximiza la eficiencia operativa. La notificación oportuna facilita la coordinación entre las diversas fuentes de energía y contribuye a una asignación equitativa de la carga en todo el sistema.

En muchos casos, los Participantes del Mercado tienen contratos y acuerdos específicos relacionados con la disponibilidad y operación de sus recursos. La notificación inmediata de cambios no solo es esencial para cumplir con estas obligaciones contractuales, sino también para evitar posibles penalizaciones asociadas con la falta de cumplimiento. Mantener una comunicación clara y oportuna con el CENACE garantiza la coherencia entre las obligaciones contractuales y la operación real del sistema.

En el mercado de PRIMERA ETAPA, los incumplimientos o desviaciones de las programaciones del Mercado del Día en Adelanto se liquidarán al Precio Marginal Local del Mercado de Tiempo Real en el Punto de Entrega/Punto de Recepción. [29]

El mercado energético se rige por un proceso de dos etapas, conocidas como Primera Etapa y Segunda Etapa, desempeñan roles específicos en la planificación y ejecución de las transacciones de energía. A continuación, analizaremos estas etapas para comprender mejor su función en el contexto del suministro eléctrico:

Primera Etapa:

En la Primera Etapa del proceso de mercado, el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) establece parámetros cruciales para las transacciones energéticas. Durante esta fase, el CENACE no acepta ofertas para programar importaciones o exportaciones que estén programadas después del Mercado del Día en Adelanto. Esta restricción se implementa para proporcionar una sólida base operativa y garantizar que las transacciones se alineen con las necesidades y capacidades proyectadas del sistema eléctrico nacional. La Primera Etapa establece los cimientos sobre los cuales se construyen las transacciones energéticas planificadas para el próximo período operativo.

Segunda Etapa:

La Segunda Etapa del proceso de mercado entra en juego para afinar y ajustar las transacciones energéticas. Durante esta fase, los participantes del mercado tienen la flexibilidad de realizar ofertas al Mercado de una Hora en Adelanto para programar importaciones o exportaciones. Esta flexibilidad temporal permite a los participantes adaptar sus transacciones a las condiciones cambiantes del mercado, tales como variaciones en la demanda o cambios en la disponibilidad de recursos de generación. La Segunda Etapa se convierte así en un espacio dinámico donde las transacciones se ajustan para maximizar la eficiencia y la efectividad del suministro eléctrico en tiempo real.

En conjunto, estas dos etapas representan un enfoque holístico para la gestión del mercado energético. La Primera Etapa establece las bases sólidas, proporcionando una estructura inicial para las transacciones, mientras que la Segunda Etapa permite la adaptabilidad necesaria para enfrentar las variaciones operativas en tiempo real. Esta combinación de planificación cuidadosa y ajustes dinámicos asegura una operación eficiente, confiable y flexible del sistema eléctrico nacional, proporcionando así un suministro de energía estable y continuo para todos los sectores de la sociedad.

2.11.13 Servicios conexos

Los Servicios Conexos se definen como los servicios vinculados a la operación del Sistema Eléctrico Nacional que son necesarios para garantizar su Calidad, Confiabilidad, Continuidad y Seguridad.

Para cada hora del Día de Operación correspondiente y para cada Zona de Reserva, el CENACE calcula los Requerimientos de Servicios Conexos del Mercado del Día en Adelanto. [35]

Los Servicios Conexos no incluidos en el mercado son los siguientes:

- i. Reservas Reactivas (control de voltaje; la disponibilidad para inyectar o absorber potencia reactiva).
- ii. Potencia reactiva (soporte de voltaje; la inyección o absorción de potencia reactiva).
- iii. Arranque de emergencia, operación en isla y conexión a bus muerto del sistema.

Los Servicios Conexos incluidos en el mercado serán programados y sus precios serán calculados juntamente con la energía en el Mercado del Día en Adelanto y en el Mercado de Tiempo Real. La provisión de dichos Servicios Conexos será liquidada bajo el sistema de doble liquidación. [29]

2.11.14 Disponibilidad de Gas Natural

El CENACE no asumirá responsabilidad alguna respecto a la contratación, programación, obtención y uso del suministro de gas natural por parte de las Centrales Eléctricas representadas en el Mercado Eléctrico Mayorista, ni transferirá a los demás Participantes del Mercado Eléctrico el costo que pueda representar para algún Generador la falta de disponibilidad de gas natural salvo en el supuesto. [29]

La falta de disponibilidad de gas natural no eximirá al Generador de los cobros, pagos o penalizaciones que correspondan por su participación en el Mercado Eléctrico Mayorista.

Es responsabilidad de cada Generador ofrecer al Mercado del Día en Adelanto las capacidades disponibles de sus Centrales Eléctricas tomando en cuenta la disponibilidad del gas natural u otra causa que impida su operación.

La causa de falta de recurso de gas natural no será causante de cancelar contratos adquiridos, compromisos de generación en el Mercado del Día en Adelanto.

El CENACE procurará establecer procedimientos para coordinar los requerimientos del Sistema Eléctrico Nacional y la administración del gas natural con los Administradores de Gas Natural a fin de que observen las siguientes disposiciones, los cuales serán de observancia obligatoria para el CENACE y los Participantes del Mercado. [29]

El CENACE facilitará a los Administradores de Gas Natural estimaciones de consumo de gas para cada Central Eléctrica. Esta información estará disponible para los Participantes del Mercado a través del Sistema de Información de Mercado. A su vez, los Administradores de Gas Natural compartirán con el CENACE las posibles restricciones esperadas en la disponibilidad de gas en sus sistemas o ductos. Esta colaboración permite al CENACE proporcionar retroalimentación a los Administradores de Gas Natural, contribuyendo a la identificación temprana de restricciones que podrían afectar el Estado Operativo del Sistema Eléctrico Nacional, alertando así sobre posibles Estados Operativos de Alerta o de Emergencia.

Los generadores deberán actualizar su oferta al saber sobre algún impedimento de suministro de Gas Natural, quedará en su disposición las consecuencias de una buena nominación para impedir cargos o multas por fallar en la oferta de generación.

2.11.15 Liquidaciones en Operación

Cuando los titulares de Contratos de Interconexión Legados informen al Generador de Intermediación de un programa de operación para sus Unidades de Central Eléctrica o Centros de Carga, incluyendo los programas deseados de importación o exportación, el Generador de Intermediación reportará la información correspondiente al CENACE. [29]

Cuando los titulares de Contratos de Interconexión Legados informen al Generador de Intermediación de un programa de operación, el Generador de Intermediación ofrecerá al CENACE un programa fijo de energía que corresponde al nivel de generación programado para cada intervalo.

El Generador de Intermediación ofrecerá la venta de Potencia que se derive de la capacidad de las Centrales Eléctricas Legadas incluidas en los Contratos de Interconexión Legados. Asimismo, ofrecerá la compra de Potencia que se requiera para cumplir las obligaciones de los Centros de Carga.

2.11.16 Mercado de Potencia

El Mercado para el Balance de Potencia tiene los siguientes propósitos:

- (a) Facilitar transacciones entre las Entidades Responsables de Carga cuyos Contratos de Cobertura Eléctrica resultaron insuficientes para cumplir con los requisitos para obtener Potencia establecidos por la CRE, y los Participantes del Mercado que cuenten con Potencia no comprometida en dichos contratos.
- (b) Establecer una curva de demanda de Potencia en exceso de los requisitos mínimos establecidos por la CRE, y comprar la porción de la Potencia disponible por cuenta de las Entidades Responsables de Carga a fin de fomentar la operación eficiente del Mercado Eléctrico Mayorista. [1]

2.12 Estadística.

La estadística estudia los métodos científicos para recoger, organizar, resumir y analizar datos, permite obtener conclusiones válidas y tomar decisiones razonables basadas en el análisis. La estadística es, por tanto, la ciencia que recoge clasifica y analiza la información que se presenta habitualmente mediante datos agregados que permiten que las observaciones puedan cuantificarse, medirse, estimarse y compararse utilizando medidas de tendencia central, medidas de distribución, métodos gráficos, etc. La estadística aplicada trata sobre cómo y cuándo utilizar los procedimientos matemáticos (estadística matemática) y cómo interpretar los resultados que se obtienen. [36]

2.12.1 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva es la parte de la estadística que sintetiza y resume la información contenida en un conjunto de datos, por tanto, un análisis descriptivo consiste en clasificar, representar y resumir los datos. La descripción se puede hacer utilizando dos tipos de procedimientos: mediante el cálculo de índices estadísticos que son números que resumen de modo sencillo la información contenida en los datos reales, o bien utilizando representaciones gráficas que son muy útiles, ya que pueden aportar mucha información en un solo golpe de vista. [36]

Además, la estadística descriptiva juega un papel crucial en la identificación de patrones y tendencias en un conjunto de datos. A través de medidas de tendencia central como la media, mediana y moda, y medidas de dispersión como la varianza, desviación estándar y rango, se puede obtener una comprensión más profunda de la distribución de los datos.

Estas medidas proporcionan información valiosa sobre la “normalidad” de los datos, la simetría de la distribución y la presencia de valores atípicos. Además, las técnicas de visualización de datos, como los histogramas, gráficos de barras y gráficos de caja, permiten una interpretación visual intuitiva de los datos. En resumen, la estadística descriptiva proporciona las herramientas necesarias para resumir y

representar un conjunto de datos de manera efectiva, lo que es esencial para cualquier análisis posterior.

2.12.2 Estadística inferencial

A diferencia de la estadística descriptiva, la estadística inferencial va más allá de la mera descripción de la muestra por cuanto se propone, a partir del examen de ésta última, inferir una conclusión acerca de la población, con un cierto nivel de confianza (o, complementariamente, con un cierto nivel de error). Las muestras de las cuales se ocupa la estadística inferencial son muestras probabilísticas, es decir, aquellas en las cuales es posible calcular el error cometido. [37]

En este contexto, es importante destacar que la estadística inferencial proporciona un marco sólido para tomar decisiones informadas basadas en datos. A través de la estimación de parámetros y la prueba de hipótesis, los investigadores pueden hacer inferencias sobre una población a partir de una muestra de datos. Esto es particularmente útil en situaciones donde es impracticable o imposible recolectar datos de toda la población.

La estadística inferencial se ocupa de dos cuestiones: la estimación de parámetros y la prueba de hipótesis, aunque “por lo general, la mayoría de las aplicaciones de la estadística inferencial pertenecen al área de la prueba de hipótesis. [37]

2.12.3 Diagrama de dispersión

La forma gráfica más habitual de describir la relación entre dos variables cuantitativas es utilizando un diagrama de dispersión. Cada punto corresponde a un par de valores (uno para cada variable), medidos sobre el mismo individuo.

Dos variables están asociadas en forma positiva cuando los valores que están por encima del promedio de una de ellas tienden a ocurrir mayoritariamente con valores por encima del promedio de la otra. Lo mismo ocurre con los que se encuentran por debajo del promedio.

Dos variables están asociadas en forma negativa cuando valores por encima del promedio de una suelen estar acompañados por valores por debajo del promedio de la otra y viceversa.[38]

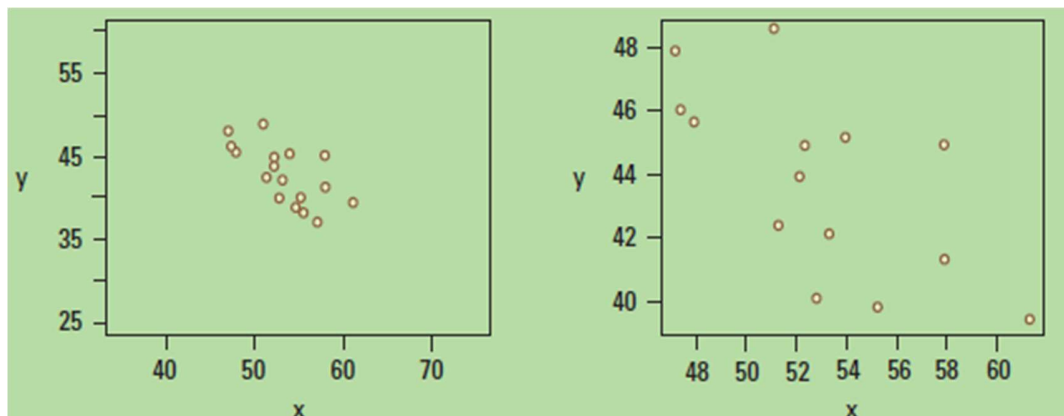


Figura 3. Diagrama de Dispersión [38]

En la Figura 2 se observa un diagrama de dispersión que es una herramienta gráfica muy útil que nos permite visualizar y analizar la relación entre dos variables. Cuando se tienen datos de los cuales se quiere saber qué relación hay entre esas dos variables es aquí es donde entra en juego el diagrama de dispersión. Un diagrama de dispersión es una forma poderosa y visual de explorar las relaciones entre las variables. Es como un mapa que te ayuda a navegar por tus datos y descubrir patrones ocultos.

2.12.4 Coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación es un indicador estadístico que mide la tendencia de dos variables cuantitativas a tener una relación de linealidad o proporcionalidad entre ellas, un ejemplo del cual nos basaremos para realizar el análisis en esta tesis es el Coeficiente de Correlación de Pearson (r) el cual tiene las siguientes propiedades:

- Ser positivo si la asociación lineal es positiva.
- Ser negativo si la asociación lineal es negativa.
- Ser más grande, en valor absoluto, cuánto más cerca se encuentren de alguna recta los pares de valores.
- No depender de las unidades en las que se expresan las variables.
- No depende de las unidades en que se miden las variables y su valor está siempre entre -1 y 1.
- No distingue entre variable explicativa (X) y variable respuesta (Y): el coeficiente de correlación entre X e Y es igual al coeficiente de correlación entre Y y X .
- A mayor valor absoluto de r , mayor el grado de asociación lineal.
- Cuando $r = 0$ no hay una tendencia lineal creciente o decreciente en la relación entre los valores x 's e y 's.

- Los valores extremos, $r = 1$ y $r = -1$, ocurren únicamente cuando los puntos en un diagrama de dispersión caen exactamente sobre una recta. Corresponde a asociaciones positivas o negativas perfectas.
- Valores de r cercanos a 1 o -1 indican que los puntos yacen cerca de una recta. [38]

Expresado por la Ecuación 1:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Ecuación 1. Coeficiente de Pearson [38]

Donde $(x_1, y_1) \dots (x_n, y_n)$, es un conjunto de pares de datos de tamaño n , correspondiente a observaciones de dos variables continuas X e Y .

El coeficiente de correlación de Pearson r mide el grado de asociación lineal entre los pares de valores de dos variables continuas. Es un número entre -1 y 1. Su signo refleja si la asociación es positiva o negativa y su valor está más acerca de 1 (ó -1) a medida que los puntos del diagrama se aproximan a una recta. Los valores extremos 1 y -1 se obtienen cuando los puntos del diagrama de dispersión están perfectamente alineados. [38]

2.12.5 Prueba t Pareada

La prueba t de muestras pareadas se utiliza cuando se recopilan mediciones en dos momentos diferentes para los mismos individuos o elementos. Para este estudio aplica para ver el antes y después de la implementación del análisis.

Para calcular la prueba t para muestras dependientes, primero se calcula la diferencia de cada par de los dos grupos. A partir de las diferencias resultantes, se calcula el valor medio $\bar{x}_{diff}$.

El cálculo del estadístico t de la prueba equivale ahora a la prueba t para una muestra. Si no hay diferencia entre los dos grupos, el valor medio de la diferencia $\bar{x}_{diff}$ es cero. Así que la pregunta es si hay diferencia entre $\bar{x}_{diff}$ y cero. El estadístico t de la prueba t para muestras dependientes se calcula entonces como: [39]

$$t = \frac{\bar{x}_{diff} - 0}{s_{\bar{x}}}$$

Ecuación 2 Estadístico t

donde $S_{\bar{x}}$ el error típico del valor medio.

$$s_{\bar{x}} = \frac{s_{diff}}{\sqrt{N}}$$

Ecuación 3 Error de valor medio

X_{diff} = Diferencia entre los grupos.

$\bar{x}_{diff}$ = Valor medio de la diferencia entre los dos grupos.

N = Tamaño de la muestra.

S_{diff} = Desviación típica.

$S_{\bar{x}}$ = Error típico estimado de la media.

2.12.6 Hipótesis Nula

En la hipótesis, se hace una suposición preliminar, es decir, no demostrada, que se va a probar. En el caso de una prueba t para muestras dependientes, las hipótesis son:

Hipótesis nula H_0 : El valor medio de los dos grupos dependientes es igual.

Hipótesis alternativa H_1 : Los valores medios de los dos grupos dependientes son diferentes.[39]

En esta investigación, consideramos utilizar las hipótesis y el análisis de correlaciones. Las hipótesis nos permiten explorar las relaciones entre dos o más variables, en este caso, el consumo de gas natural y los ingresos obtenidos del Mercado Eléctrico Mayorista. Aunque estas hipótesis no nos permiten establecer una relación causal, sí nos proporcionan información valiosa sobre cómo estas variables están asociadas entre sí.

El análisis de correlaciones, apoyado por medidas de la estadística descriptiva, nos permite cuantificar el grado de asociación entre estas variables. Este análisis es

fundamental para entender cómo las fluctuaciones en el consumo de gas natural pueden estar relacionadas con los ingresos obtenidos de la venta de energía.

En conclusión, al utilizar estas herramientas estadísticas, podemos obtener una comprensión más profunda de las dinámicas del mercado energético y, a su vez, mejorar nuestras estrategias de nominación de energía.

Capítulo III Metodología.

El proyecto se inicia después de analizar que los costos en la central eléctrica de cogeneración no incrementaban de manera significativa para que el reporte mensual causara un balance con mayor gasto.

Se da la explicación de que el Mercado Eléctrico Mayorista está atravesando una etapa no favorable para las centrales eléctricas de energía limpia ni mucho menos de inversión privada.

Sin embargo, el precio promedio que era reportado por el Mercado era mayor al que la central eléctrica estaba recibiendo, entre todo su ingreso el precio al que se vendía la energía resultaba menor que al que el MEM reportaba que la pagaba.

Fue entonces cuando se empieza a analizar los precios que está ofreciendo el mercado y efectivamente eran los reportados, es ahí donde se encuentra el primer indicador que nos hablaba de una deficiencia en la venta de energía, el problema de un mercado en mala etapa existía sin embargo se llegó a la conclusión de empezar a administrar las pérdidas.

La mejora de ingresos mediante la gestión eficiente de la energía implica el tomar de manera consiente los datos para saber en qué momento se puede vender y en qué momento solo se debería de cumplir con el mercado. A través de la oferta de precios se plantea el realizar acciones para aminorar las pérdidas de la Central eléctrica de cogeneración.

3.1 Análisis de la operación de la central eléctrica, identificando patrones y comportamientos.

Para entender mejor el impacto que tenían los precios del MDA se empezó a observar y estudiar la operación de la fábrica, llegando a conocer los turnos, los arranques los horarios punta, los días de descanso y hasta los días de mantenimiento programados, gracias a esto la fábrica consistía en una operación muy estable, con la que cada mes podrían consumir un total de 1,030 MWh por todo el mes.

Como podemos observar en la Figura 3 la generación se ve mayormente afectada por la energía exportada al Mercado Eléctrico Mayorista debido a que la carga de la fábrica se mantiene constante a lo largo del año.

La operación de la planta no era el problema, su operación no afectaba a los costos de la central eléctrica, al punto de entender cuál era el día a día de la fábrica nos centró a analizar qué es lo que producía un desbalance de ingreso dentro de la operación de la central eléctrica.

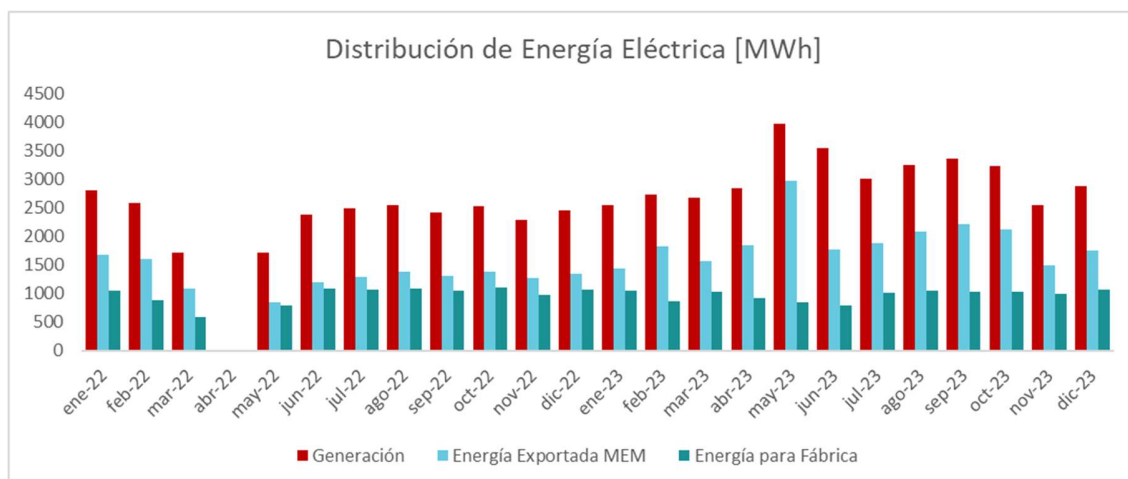


Figura 4. Distribución de Energía Eléctrica [Fuente Propia]

Se encuentra que la operación de la central eléctrica de cogeneración se basa en un contrato de consumo de gas natural, este contrato definía un consumo anual de gas natural cerca de los 362,500 GJ por año. La operación definida anteriormente era concebida bajo el esquema de cumplimiento contractual, donde sin diferencia del mes el objetivo simplemente era consumir el mínimo del gas natural.

Esta forma de operar llevaba a una nominación entregada al CENACE prácticamente igual todas las semanas del año sin importar los precios del MEM ya que no había un problema mayor con ellos en todo el 2022.

Un aspecto clave en la operación de la planta de cogeneración es el Tratado Bilateral Financiero (TBfin). Según este tratado, se compromete la venta de una porción constante de 1.45 MW cada hora a un usuario calificado, a un precio establecido de 61.65 USD por MWh. Cabe destacar que este acuerdo se realiza en moneda estadounidense, el dólar. Durante el año 2023, como se evidencia en la Figura 4, se observó una disminución progresiva del precio del dólar con respecto al peso mexicano.



Figura 5. Pesos mexicanos por dólar [40]

Esta fluctuación en el tipo de cambio tuvo un impacto significativo en la operación de la central de cogeneración. Dado que el pago asociado al TBfin está directamente vinculado al precio del dólar, la brusca disminución de este generó mayores pérdidas y una marcada reducción en los ingresos obtenidos a través del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM). Esta situación, como se puede apreciar en la gráfica, revela la sensibilidad de la operación a factores económicos externos y destaca la importancia de considerar cuidadosamente los riesgos financieros asociados a acuerdos internacionales en monedas extranjeras.

3.2 Detalles sobre las limitantes y restricciones en la operación de la fábrica.

En primer lugar, contamos con el consumo mínimo de gas natural, con un consumo mínimo de 362,500 GJ por año, este es nuestro punto de partida para que la operación asegure ese consumo de gas natural, para ello es importante conocer el rate en el que trabaja el generador cuanto gas puede consumir por MW y en que potencia es lo más eficiente entre consumo y generación. Tras un análisis detallado, se ha llegado a la conclusión de que el consumo promedio es de aproximadamente 9.72 GJ/MW.

En segundo lugar, se mantiene el setpoint mínimo en el que puede trabajar el generador y eso son 3 MW por lo que la operación se basa en el ajuste mínimo del generador, no es posible bajarlo más por cuestiones de seguridad de la máquina establecido por el fabricante.

En tercer lugar, el acuerdo del TBfin que va de la mano con el punto dos, este acuerdo se buscó principalmente para no desaprovechar la energía del setpoint

mínimo en el que debe de estar el generador en este rubro se mantiene 1.45 MW para el Tratado Bilateral Financiero.

El cuarto punto es la operación de la fábrica a la cual se le suministra directamente energía, esta carga tiene un comportamiento en el que por hora puede ir desde 0.5 MWh hasta los 3 MWh en promedio de un día labora suele tener de 1.6MWh hasta los 2.7 MWh, es ahí donde el conocer sus horas de operación, las horas de arranque o apagado se vuelven importantes para las consideraciones que se tienen que tomar a la hora de hacer la nominación.

3.3 Recopilación de los precios en el nodo de conexión de la central eléctrica.

Para la recopilación de los precios del Nodo P se empezó a investigar donde se podría acceder a los precios del MEM a nuestra zona, se llegó a encontrar la App móvil de Noe Navarrete Gonzáles, quien desarrollo la iniciativa de colocar los precios del Mercado de una forma más visible para una toma de decisiones.



Figura 6. Áreas de control del MEM [41]

Al ingresar a la App lo primero que nos aparece es la Figura 5, donde podemos observar las distintas zonas en las que el Mercado Eléctrico Mayorista se divide en áreas de control, así se busca la optimización entre las zonas que puedan llegar a compartir usuarios y generadores.

La central de cogeneración de Perote, Veracruz se encuentra en la Zona de Oriental. Seguido por la zona de carga de Teziutlán en la que se observa en la Figura 6, dentro de esta zona pertenece al Nodo P 02PEE-115 Perote Dos.



Figura 7. Zonas de carga del MEM [41]

Es así como se identifican los precios respectivos al Nodo P, recordemos que cada Nodo tiene sus propios precios basados en oferta, demanda y saturación de la red eléctrica de transmisión.

para esta investigación se buscó, limpió y capturó datos históricos del Mercado Eléctrico Mayorista a lo largo de los dos últimos años de las distintas páginas de gobierno, del CENACE e informes públicos.

Para conocer los datos que se necesitarían, principalmente los precios del Mercado del Día en Adelanto (MDA) y los del Mercado en Tiempo Real (MTR), se realizó una investigación de los distintos formatos de facturación que tiene el intermediario con la central y el Mercado Eléctrico Mayorista, se anotaron cada una de las variables, cuáles pueden ser fijas alrededor de todo el año o cuales incluso cambian de forma mensual, diaria o por hora.

Estos datos proporcionaron información esencial para el análisis estadístico y la toma de decisiones referente a la ubicación de la energía de manera eficiente.

3.4 Revisión de literatura referente a optimización de centrales eléctricas, gestión de la energía y mercados eléctricos.

Se llevó a cabo una exhaustiva investigación sobre temas relacionados con la gestión de la energía en plantas de generación, ya sean de ciclo combinado, cogeneración o basadas en algún tipo de combustóleo. Esta información será analizada para identificar posibles aciertos o errores que se hayan observado en distintas centrales eléctricas. La mayoría de la información obtenida proviene de diversos países, siendo Chile y España los principales contribuyentes en la literatura sobre el Mercado Eléctrico.

No obstante, es importante destacar que la literatura en México sobre el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) es escasa. La información actualizada es difícil de encontrar, y la mayoría de los datos disponibles provienen de los manuales de operación del MEM, tanto para usuarios como para generadores. Esta limitación en la disponibilidad de información subraya la importancia de realizar investigaciones adicionales y actualizadas sobre el MEM en México.

3.5 Estadística descriptiva

A partir de la captura de información se comenzó un análisis descriptivo de los datos específicos del Nodo-P 02PEE-115, nodo correspondiente a Perote dos donde se encuentra participando la central de cogeneración.

A continuación, en la Figura 7 se presenta un gráfico de barras donde se puede observar como a lo largo de estos dos últimos años los precios promedios del Mercado del Día en Adelanto han ido disminuyendo, precios los cuales en el periodo de cuatrimestre se nota un claro descenso de los precios que donde se pueden obtener puntos importantes a considerar, el precio del que ofrece el MDA se encuentra por debajo del costo producción que actualmente se mantiene en la planta de Cogeneración, sin embargo se notan oportunidades en los que se pueda aprovechar el Tratado Bilateral Financiero en estos cuatrimestres.

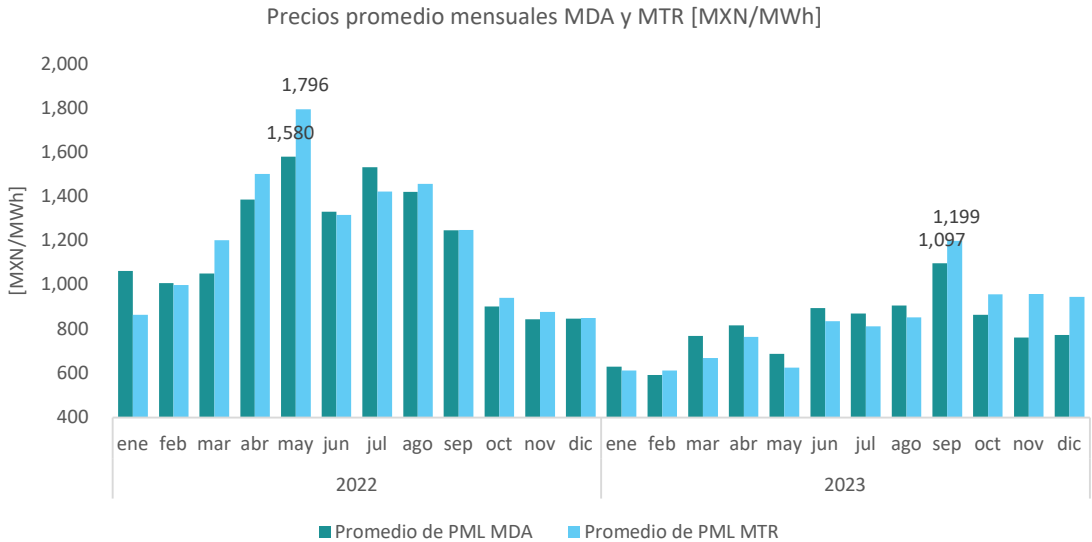


Figura 8. Precios promedios MDA y MTR 2022- 2023 [Fuente Propia]

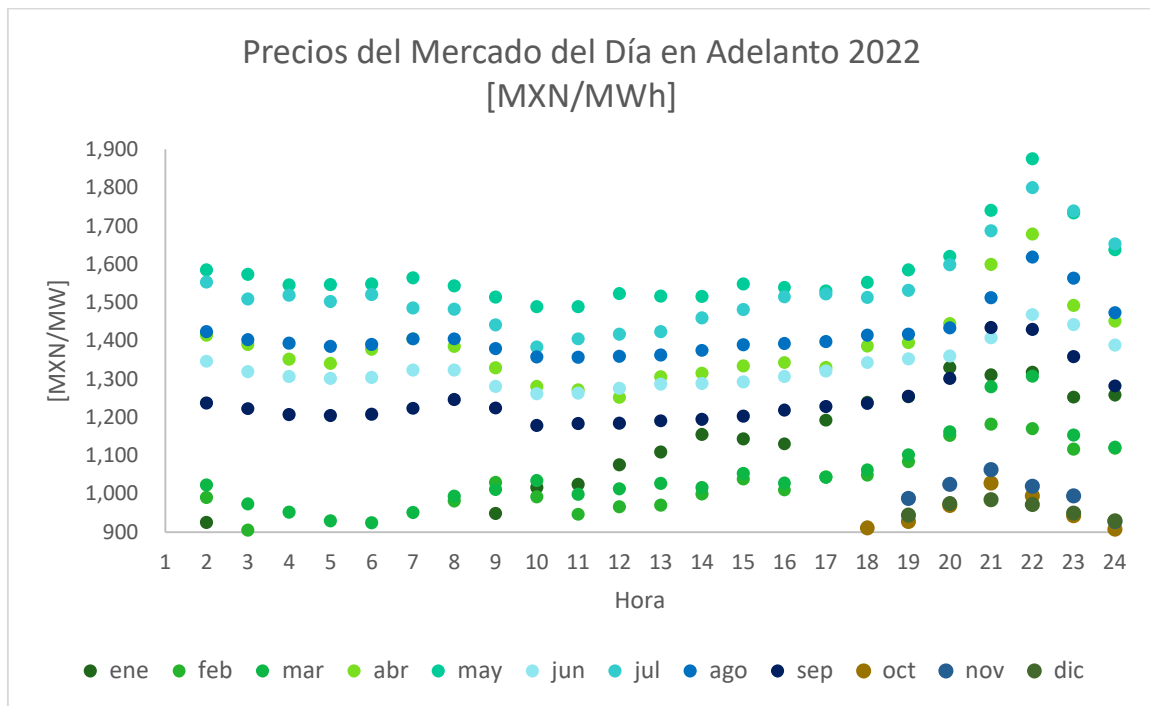


Figura 9. Distribución de Precios por hora 2022[Fuente Propia]

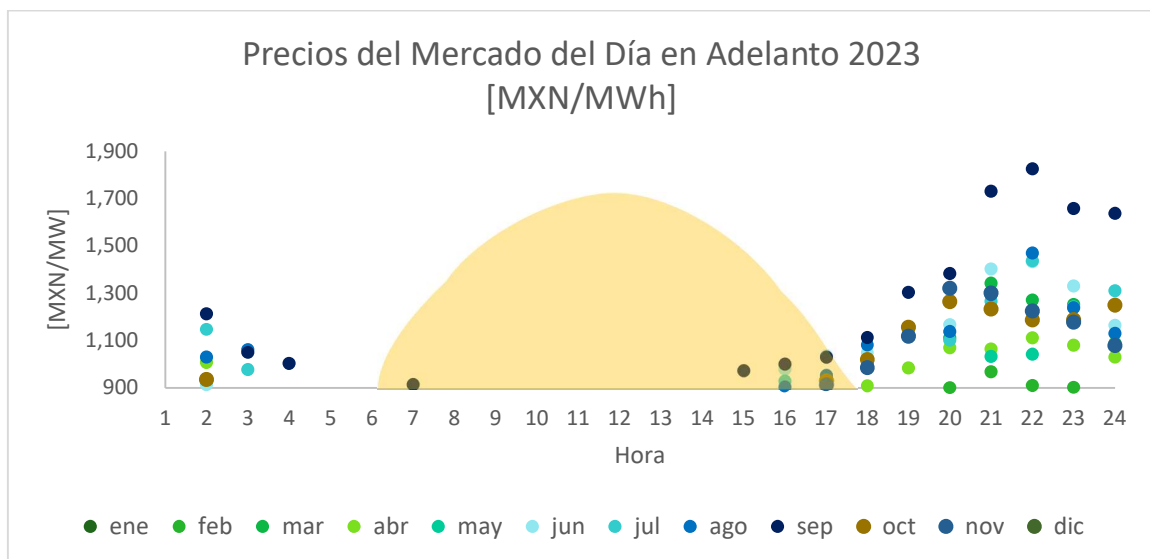


Figura 10. Distribución de Precios por hora 2023 [Fuente Propia]

Conforme a las Figuras 8 y 9 se observa unas graficas de distribución donde en el eje x, se colocan las horas del día, donde la hora 1 es de las 00:00 hasta las 01:00 y la hora 24 abarca de la hora 23:00 a las 00:00 del siguiente día.

Sabiendo esto podemos analizar el panorama de lo que está sucediendo en el Mercado Eléctrico Mayorista, en 2022 con unos precios relativamente constantes pueden incluso cerrar el año en el mes de diciembre con precios por encima de 900

MXN, lo que vemos en el 2023 es el efecto de la entrada en operación de una central fotovoltaica de 100 MW en la ciudad de Perote, Veracruz, conectadas al mismo nodo, esto afecta el comportamiento del mercado donde entre la hora 5 y la hora 15 horario caracterizado por la generación solar intensiva.

La empresa OHLA declara que la planta fotovoltaica Perote, ubicada en México, ha sido diseñada, construida, puesta en operación y se encuentra bajo su mantenimiento. Según la información proporcionada por la empresa, la planta ostenta una capacidad nominal instalada de 119 MW con 312,939 módulos fotovoltaicos monocristalinos de 380 W, no obstante, se ha especificado que la conexión a la red eléctrica se limita a una capacidad de 100 MW. [42]

La entrada de operación de dicha planta es la principal causa que los precios en las horas solares son disminuidos debido a la gran oferta que se presenta en la red. Este al ser una variante fuera de la operación de la planta de cogeneración no se tenía a la vista y no presentaba una visualización dentro de las variables para tomar acción en la programación de la venta de energía.

Esta variabilidad en los precios incide directamente sobre los ingresos generados por la planta de cogeneración, subrayando la influencia palpable de las fuentes renovables y sus implicaciones económicas dentro del contexto específico del Mercado Eléctrico Mayorista.

3.6 Base de la nominación.

Como se evidencia en la Tabla 1, se presentan los precios promedio del Mercado Diario de Ajuste (MDA), segmentados por día de la semana, en un intervalo de una hora. Estos datos corresponden al año 2022 y abarcan el mes de agosto 2022, para efectos comparativos. La tabla revela varios aspectos significativos, entre ellos, la distribución semanal de los precios a lo largo del mencionado periodo. Adicionalmente, destaca que la mayoría de las horas semanales se sitúan dentro de un rango aceptable, indicando la posibilidad de mantener una operación constante sin incurrir en pérdidas significativas.

Es relevante subrayar que, durante las horas de mayor incidencia solar, los precios del mercado se mantuvieron notablemente estables, superando los \$1,000 MXN en cada una de estas franjas horarias. Incluso durante los fines de semana, días en los que generalmente los grandes consumidores de energía reducen su actividad u operan a media jornada, como es el caso de algunas fábricas en la región de Teziutlán.

Tabla 1. Precios promedio por hora agosto 2022 [Fuente Propia]

Hora	domingo	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado
1	1,405	1,392	1,415	1,412	1,418	1,444	1,495
2	1,395	1,383	1,374	1,383	1,389	1,448	1,464
3	1,366	1,381	1,375	1,363	1,386	1,444	1,457
4	1,329	1,374	1,376	1,369	1,379	1,430	1,451
5	1,348	1,376	1,382	1,374	1,387	1,436	1,444
6	1,338	1,392	1,400	1,395	1,393	1,486	1,444
7	1,328	1,408	1,396	1,393	1,414	1,436	1,466
8	1,280	1,404	1,372	1,375	1,379	1,422	1,425
9	1,265	1,381	1,354	1,339	1,365	1,399	1,403
10	1,257	1,389	1,353	1,346	1,359	1,390	1,402
11	1,258	1,389	1,344	1,346	1,376	1,397	1,408
12	1,273	1,396	1,348	1,342	1,364	1,414	1,406
13	1,287	1,395	1,368	1,361	1,393	1,414	1,409
14	1,290	1,407	1,391	1,370	1,420	1,434	1,416
15	1,277	1,408	1,389	1,383	1,431	1,455	1,406
16	1,280	1,413	1,395	1,386	1,415	1,469	1,429
17	1,302	1,418	1,408	1,399	1,457	1,483	1,446
18	1,295	1,422	1,414	1,395	1,450	1,513	1,441
19	1,338	1,451	1,434	1,411	1,455	1,477	1,469
20	1,438	1,565	1,514	1,522	1,515	1,526	1,495
21	1,504	1,777	1,722	1,551	1,664	1,547	1,514
22	1,494	1,562	1,627	1,599	1,547	1,563	1,533
23	1,444	1,447	1,452	1,429	1,532	1,561	1,475
24	1,415	1,429	1,416	1,458	1,494	1,535	1,422

A partir de la comparación y el análisis de los datos presentados en la Tabla 2, se puede observar una notable fluctuación en los precios durante el periodo anual comprendido en agosto de 2023. Es evidente que ha habido una disminución significativa en los precios durante este periodo.

Esta caída en los precios parece estar correlacionada con la producción de energía de la planta solar de 100 MW. Durante las horas de mayor radiación solar, la oferta de energía aumenta, lo que a su vez provoca una reducción en los precios. Además, durante los fines de semana, debido a la disminución de la demanda industrial y laboral en la región, los precios tienden a regularse a un nivel considerablemente bajo.

Tabla 2. Precios Promedio por Hora agosto 2023 [Fuente Propia]

Hora	domingo	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado
1	1,022	924	918	955	912	1,200	1,357
2	983	805	1,111	980	1,026	1,157	1,390
3	739	568	840	999	945	891	1,194
4	605	519	698	782	923	789	1,197
5	569	506	649	752	863	775	1,006
6	540	527	643	735	807	746	801
7	462	546	607	687	698	660	676
8	424	589	531	593	589	584	503
9	406	518	508	565	571	524	510
10	398	576	577	545	639	661	515
11	402	670	507	559	615	698	526
12	405	807	642	657	751	718	572
13	409	818	725	666	877	936	622
14	416	843	850	830	886	893	643
15	432	928	949	1,234	1,048	919	723
16	441	974	1,235	985	1,007	1,214	765
17	464	1,042	1,268	1,315	1,242	1,284	811
18	482	961	1,283	1,305	1,373	1,438	849
19	757	1,144	933	1,119	1,288	1,472	1,270
20	1,127	1,369	1,254	1,128	1,350	1,482	1,386
21	1,427	1,500	1,628	1,580	1,337	1,416	1,369
22	1,222	1,326	1,151	1,195	1,160	1,312	1,353
23	1,171	1,127	1,240	932	1,019	1,213	1,262
24	1,263	1,167	1,333	1,066	1,277	1,300	1,416

Sin embargo, se puede identificar un pequeño intervalo de tiempo durante el cual los precios permiten minimizar las pérdidas operativas y generar ingresos que pueden ayudar a cubrir los costos. Este intervalo representa una oportunidad para optimizar la distribución de la energía generada, lo que permitiría un uso más eficiente de los recursos, como el gas natural, y una mejor gestión financiera. En este sentido, la atención se centra en la optimización de la distribución de la energía generada para maximizar el aprovechamiento de los recursos disponibles.

El formato de presentación que se aplica semanalmente y se desglosa por horas, constituirá la base para la nominación de la oferta de generación de energía en la planta de cogeneración. Este método representa una estrategia óptima para regular anticipadamente la nominación, utilizando los datos históricos más recientes. Además, este enfoque mejora la eficiencia del simulador generado en Excel para calcular los respectivos datos de una manera organizada y apegados a la operación.

Para la realización de la nominación, en un principio, se asignan 1.45 MW al TBfin. Cuando los precios del mercado caen por debajo de la oferta establecida por el TBfin, se designa una cantidad específica de 1.45 MW para exportación en la nominación.

Durante los periodos en los que la planta no está en funcionamiento y los precios del mercado son inferiores al costo de producción, se establece una nominación de 2.8 MW para su exportación. En contraposición, cuando la planta está en pleno funcionamiento y los precios del mercado son favorables, la nominación puede oscilar entre 4 y 5 MW, dependiendo de las condiciones específicas del precio ofrecido.

Una vez formulada la nominación, se envía a un intermediario designado en el marco del TBfin. Este intermediario tiene la responsabilidad de registrar la nominación ante el CENACE, desempeñando un papel crucial en el proceso.

Después del envío inicial, se evalúa la posibilidad de ajustar la nominación en las semanas siguientes, en función de los cambios en el mercado o las programaciones de mantenimiento que puedan afectar la operación de la planta. La comunicación constante con el intermediario y la capacidad de modificar la nominación son elementos esenciales para adaptarse a las dinámicas cambiantes.

En situaciones en las que se programa un mantenimiento que impide la operación de la planta, o en eventos de ausencia de generación, se procede a comunicar y nominar la cantidad de 0 MW para esos periodos específicos.

Este proceso integral de formulación de nominaciones y su presentación al CENACE refleja una respuesta estratégica a las condiciones del mercado y las variables operativas de la planta, garantizando una gestión eficiente y la optimización de recursos.

3.7 Simulación y escenarios para su comparación.

En la Tabla 3 se puede observar que se conforma de tres segmentos, las celdas en color blanco es donde se exporta tan solo 1.45 MW para cumplimiento de la TBfin que es donde mayor se saca provecho de ella y tanto la carga de la Fábrica y los precios del mercado lo permite, las celdas verdes es una cierta cantidad de energía donde dependen de dos cosas, por ejemplo los días domingos la Fábrica no permite estar a menor carga, y entre semana se requiere de una hora en la que el motor le permite volver a una operación de baja demanda. Por último, las celdas azules es donde se exporta la mayor cantidad de energía, donde los precios del mercado permiten vender cómodamente la energía.

Tabla 3. Propuesta de Nominación para agosto 2023 [Fuente Propia]

HORA/DIA	domingo	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado
1	4.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	4.8
2	4.8	2.7	1.45	1.45	1.45	1.45	4.8
3	2.7	2.7	1.45	1.45	1.45	1.45	2.7
4	2.7	2.7	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
5	2.7	2.7	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
6	2.7	2.7	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
7	2.7	2.7	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
8	2.7	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
9	2.7	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
10	2.7	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
11	2.7	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
12	2.7	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
13	2.7	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
14	2.7	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
15	2.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	1.45
16	2.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	1.45
17	2.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	1.45
18	2.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	1.45
19	2.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	1.45
20	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
21	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
22	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
23	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
24	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8

Al tener la primera nominación generada con la ayuda del análisis estadístico se planteó la estructura de nominación de la Tabla 3, para esta final propuesta se tomó en cuenta la amortiguación que se tomaba el tiempo al generador de bajar de máxima potencia a otra vez colocarse a exportar 1.45MW en las primeras horas de martes a sábado. El haber utilizado esta nominación habría generado los siguientes resultados:

Se habría registrado una disminución en la generación, pasando de 3,263 MWh a 3,134 MWh, representando un decremento total de 129 MWh. Este ajuste habría equivalido a un ahorro sustancial de 1,247 GJ de gas natural, traduciéndose en un ahorro financiero de 106,459 MXN únicamente en el consumo de combustible.

Un aspecto relevante es el precio promedio de venta de la energía, indicativo del valor real de una nominación eficiente. Este valor habría oscilado entre 757 MXN y 1,018 MXN por cada MWh en el mes de agosto, destacando un escenario en el cual, a pesar de una generación reducida, se habrían obtenido ingresos superiores. La diferencia resultante sería de 147,821 MXN más que en el escenario real.

Como podemos apreciar en la Tabla 4, la suma de los ahorros en combustible y los ingresos adicionales da como resultado un beneficio total de 254,280 MXN, derivado de la modificación en la nominación para canalizar la máxima cantidad de energía en momentos estratégicos para la planta de cogeneración. Tras la obtención de estos resultados mediante simulación y su presentación ante la dirección de la empresa, se ha concedido la aprobación para la implementación del simulador. Este será empleado para monitorear la operación de la central de cogeneración con respecto al Mercado Eléctrico Mayorista, siendo sometido a prueba en los meses venideros con un riguroso control diario para su ulterior análisis y optimización operativa.

Tabla 4. Primera comparación en agosto 2023 [Fuente Propia]

Real + Proyección vs Nominación Alterna				
Fecha Inicio	01/08/2023	01/08/2023		
Fecha Final	31/08/2023	31/08/2023		
	Real	Escenario	Diferencia	
Generación Total [MWh]	3,263	3,474		
Gas Natural Consumo [GJ]	31,979	34,048	-2,068	
Costo Gas Natural [MXN]	2,729,569	2,906,118	-176,549	
Costo Operativo+Depreciación [MXN]	2,296,196	2,292,580		
Costo Total CHP1 [MXN]	5,025,766	5,198,697		
Costo Producción [MXN/MWh]	1,540	1,496		
Energía TBfin [MWh]	1,079	1,080		
Energía PML [MWh]	1,012	1,236	-	223.77
Precio TBfin [MXN/MWh]	1,048	1,048		
Ingreso TBfin [MXN]	1,130,703	1,132,237		
Precio Promedio PML [MXN/MWh]	907	982	-75	
Ingreso PML [MXN]	766,733	1,143,188	-376,455	
Ingreso MEM [MXN]	-	1,897,436	-	2,275,425
Cargo FM [MXN]	3,128,329	2,923,272		205,057

3.8 Adaptabilidad del Simulador a Cambios en el Mercado.

Evaluación de la capacidad del simulador para adaptarse a cambios en los precios del mercado.

Este simulador, desarrollado en el software Excel, proporciona una notable flexibilidad ante eventualidades imprevistas en la operación, tales como paros no programados, situaciones de emergencia, o incluso ajustes derivados de compensaciones en el mercado debidas a paros en la fábrica.

Un diseño meticuloso del simulador, que permita la adaptación de cada variable dentro de la nominación, adquiere un rol esencial dada la naturaleza de una operación que no se desenvuelve de manera completamente continua o predecible. Esta capacidad de adaptabilidad no solo confiere autenticidad al simulador, sino que también fortalece su fiabilidad en la gestión de escenarios diversos.

Ejemplos de ajustes realizados y sus impactos en la operación.

La Tabla 5 ejemplifica claramente la facilidad con la cual es posible efectuar ajustes deseados. En este contexto, se destacó la importancia de la amortiguación, evidenciando que, tras operar a una potencia elevada, la reducción inmediata de las revoluciones no es instantánea. Por ello, una hora después de alcanzar una potencia alta, se asignan 2.7 MWh con el propósito de minimizar la cantidad de energía que se dirige hacia el Mercado de Tiempo Real (MTR) en lugar del Mercado Diario de Ajuste (MDA).

Asimismo, se presenta un segundo ejemplo. Tras la primera semana de implementar la nueva nominación, se identificó que en algunas horas donde se exportaban 5 MWh, la fábrica aún mantenía un consumo. Ante esta observación, se optó por reducir la nominación en 0.2 MWh en esas horas específicas para evitar incumplimientos en la nominación. La decisión de ajustar la nominación se basó en el reconocimiento de que 200 kWh representaban una pérdida financiera. Al multiplicar este valor por las horas potenciales en las que este escenario pudiera ocurrir, se tomó la determinación de reducir la nominación, con el fin de optimizar la eficiencia operativa y mitigar posibles pérdidas económicas.

Tabla 5. Ejemplo de Modificación [Fuente Propia]

domingo	lunes	martes	miércoles	jueves
10/09/2023	11/09/2023	12/09/2023	13/09/2023	14/09/2023
5	1.45	1.45	2.7	2.7
5	1.45	1.45	1.45	1.45
1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
1.45	5	5	4.8	4.8
1.45	5	5	4.8	4.8
1.45	5	5	4.8	4.8
1.45	5	5	4.8	4.8
1.45	5	5	4.8	4.8
5	5	5	4.8	4.8
5	5	5	4.8	4.8
5	5	5	4.8	4.8
5	5	5	4.8	4.8
5	5	5	4.8	4.8

Con el fin de evaluar la distribución eficiente de la energía puesta a mercado se analizará y se llevará un seguimiento diario del comportamiento de la carga conectada, la generación, el gasto de combustible, la energía proporcionada en distintos bloques de precios y los mismos precios PML que se registrarán en el MEM.

3.9 Estadística Inferencial y Resultados

En la sección que precede a la presentación de los resultados, se detalla la metodología empleada para el análisis de los datos. Esta metodología se basa en la aplicación de una Prueba t para dos muestras, asumiendo varianzas iguales. Este enfoque permite definir la orientación de los resultados y proporciona resultados precisos y confiables. A partir de estos resultados, se determinará si se rechaza o no la hipótesis nula, basándose en los datos numéricos obtenidos.

Además de la Prueba t, se incorporará la correlación de Pearson en la metodología. Esta técnica estadística mide el grado de relación lineal entre dos variables, lo que puede proporcionar información valiosa sobre las interacciones entre el consumo de gas natural y el ingreso por el Mercado Eléctrico Mayorista.

Finalmente, los resultados del análisis se presentarán en forma de informes a la directiva de la planta de cogeneración. Estos informes permitirán a la directiva tomar decisiones informadas sobre si los hallazgos representan una mejora en el proceso

que justifique mantener esta metodología. El objetivo final es una operación eficiente que gestione adecuadamente los recursos y produzca resultados favorables para la empresa.

Capitulo IV. Resultados.

En este capítulo se abordarán los resultados obtenidos a lo largo de la implementación en la operación del simulador en Excel para la nominación en la energía exportada al Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), basada en los precios del Mercado del Día en Adelanto (MDA), el consumo de gas natural en la central de cogeneración y su ingreso por venta al MEM. Estos resultados serán medidos en el último cuatrimestre de 2023 (01 de septiembre al 31 de diciembre), comparados con el último cuatrimestre de 2022, mismo periodo de tiempo en distintos años.

La estructura de este capítulo seguirá una secuencia lógica, comenzando con una descripción general de los datos recopilados, seguida de un análisis estadístico detallado. Se destacarán las tendencias, comparaciones y cualquier hallazgo significativo, evitando interpretaciones profundas en esta sección. La presentación visual, a través de Tablas y Figuras, se empleará para una comprensión clara y precisa de los resultados.

Cabe destacar que estos resultados no solo respaldan los objetivos de investigación establecidos, sino que también contribuyen a la comprensión general de cómo la implementación de tecnologías como el simulador en Excel puede impactar positivamente en la mejora operativa y financiera de las centrales eléctricas.

4.1 Precios del Mercado del Día en Adelanto 2022 - 2023

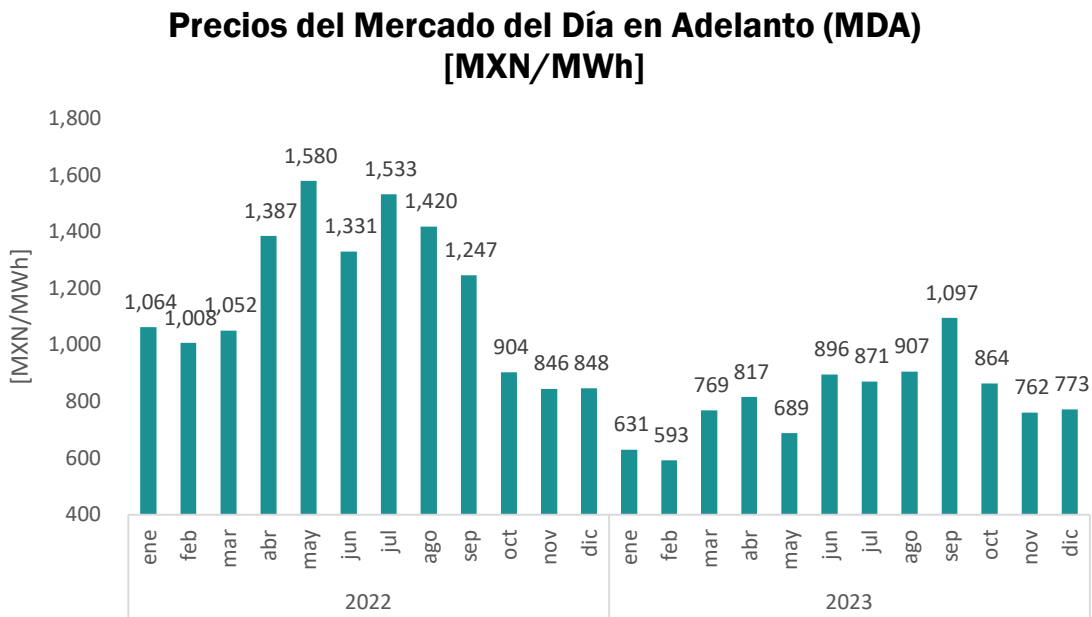


Figura 11. Precios promedio MDA 2022-2023 [Fuente Propia]

Como podemos observar en la Figura 10, se muestran los precios del Mercado del Día en Adelanto (MDA) en MXN/MWh a lo largo de los años 2022 y 2023. Los precios fluctúan, alcanzando un pico en mayo de 2022 y disminuyendo hacia finales de año, en el año 2022 los precios promedios mensuales del Mercado fueron mayores en comparación con su respectivo mes del año 2023.

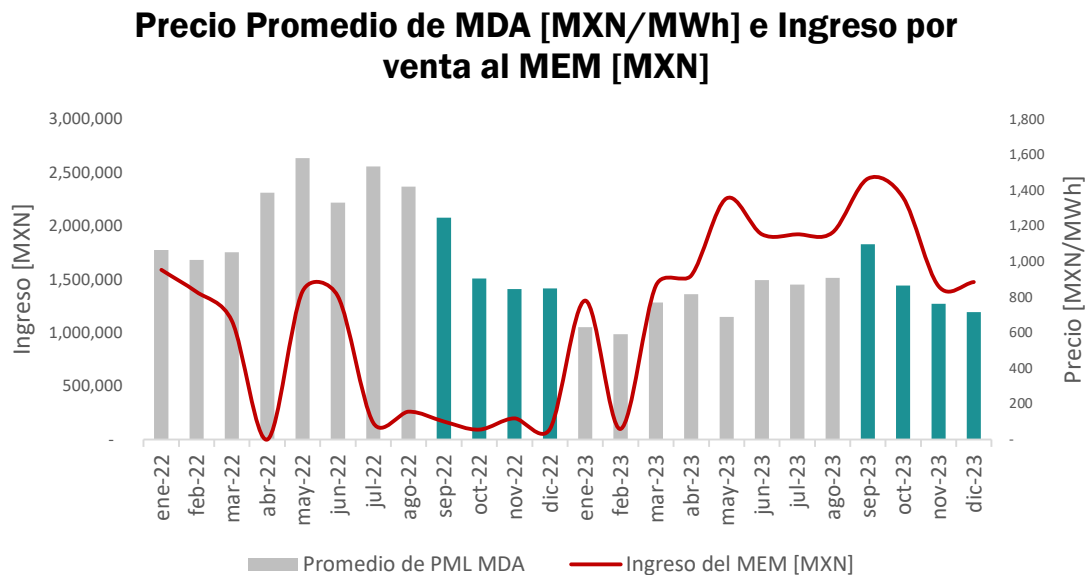


Figura 12. Precios promedio e Ingresos 2022-2023 [Fuente Propia]

En la Figura 11 es la representación de los precios del mercado como en la gráfica 5, sin embargo, cuenta con una línea roja en el segundo campo, esta línea roja representa los ingresos que se han obtenido a lo largo de estos dos años, podemos observar que la línea de ingresos, a pesar de que los precios sean menores en 2023, se encuentra por encima de los ingresos generados en 2022.

En esta comparación no son las variables por considerar para la eficiencia de la implementación del simulador, sin embargo, cuenta con información valiosa la cual se debe contemplar para encontrar errores en el pasado y tener a la vista los aciertos en cuanto el manejo del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).

4.2 Operación técnica: consumo de gas natural contra Generación de Energía

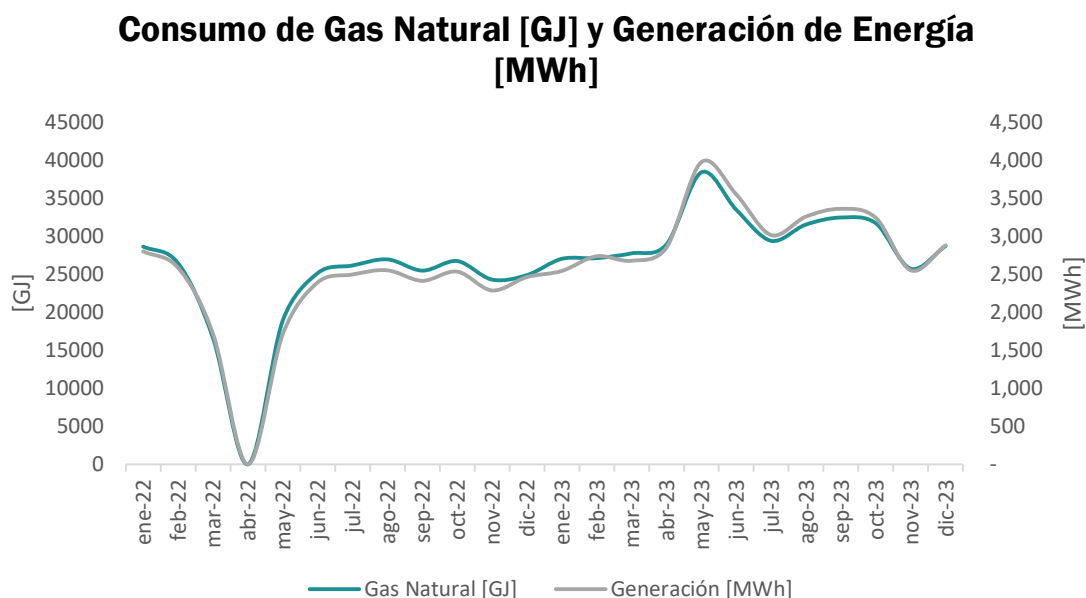


Figura 13. Consumo de GN y Generación Eléctrica [Fuente Propia]

La generación de energía eléctrica depende en gran medida del consumo de gas natural. En la Figura 12, se puede apreciar la eficiencia del motor en términos directos. A lo largo de los dos años representados, la eficiencia del motor ha mantenido una relación constante. En los momentos de mayor generación de electricidad, la eficiencia del motor puede mejorar. Esto es una característica común en los motores a gas natural, a mayor generación de energía, mayor es la eficiencia en el consumo de gas natural. Esta relación subraya la importancia del gas natural como recurso energético clave y su papel en la optimización de la generación de energía eléctrica.

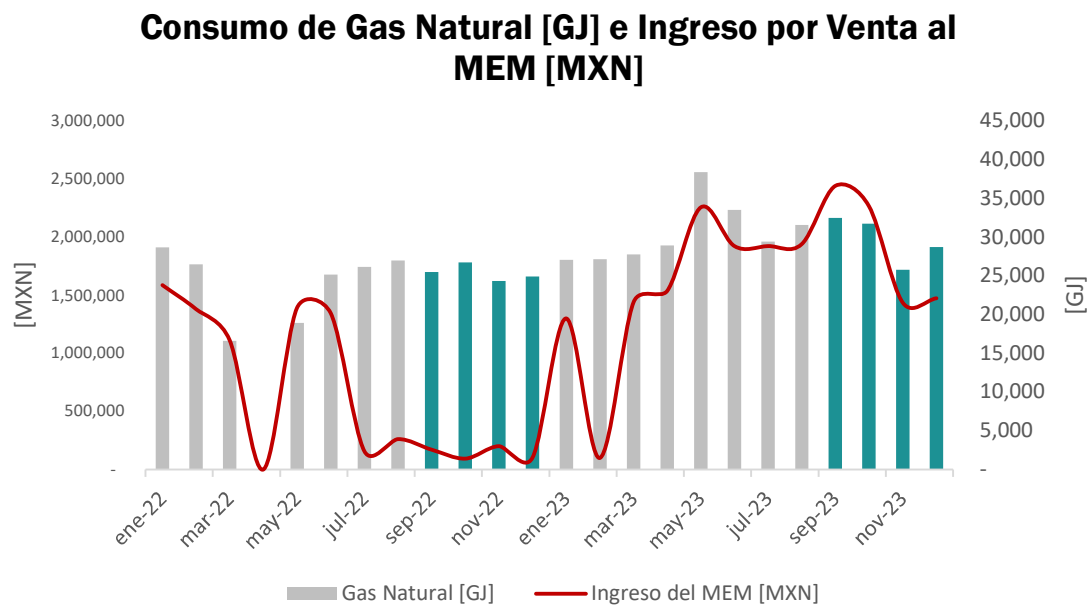


Figura 14. Consumo de GN e Ingreso 2022-2023 [Fuente Propia]

La Figura 13 resalta un recurso de vital importancia para nuestra discusión, el gas natural. Este recurso es un componente esencial en la transición energética del país, proporcionando una alternativa más limpia y eficiente en comparación con los combustóleos o la generación de energía convencional.

El gas natural, debido a su eficiencia y menor impacto ambiental, se ha convertido en un pilar en los esfuerzos de modernización de la infraestructura energética del país. Su papel es aún más crucial en el contexto de los desafíos climáticos actuales, donde la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es una prioridad.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la eficacia de un simulador en Excel diseñado para modelar adaptarse al comportamiento del mercado energético. Al correlacionar los datos del gas natural y los ingresos generados por el simulador, esperamos determinar si la implementación de este ha cumplido con nuestra hipótesis.

4.3 Coeficiente de Correlación de Pearson

A continuación, analizaremos el coeficiente de correlación de Pearson para el tercer cuatrimestre de 2022 y de 2023. En la Figura 14 se muestran ambos diagramas de dispersión en los que se puede apreciar gráficamente ambas tendencias.

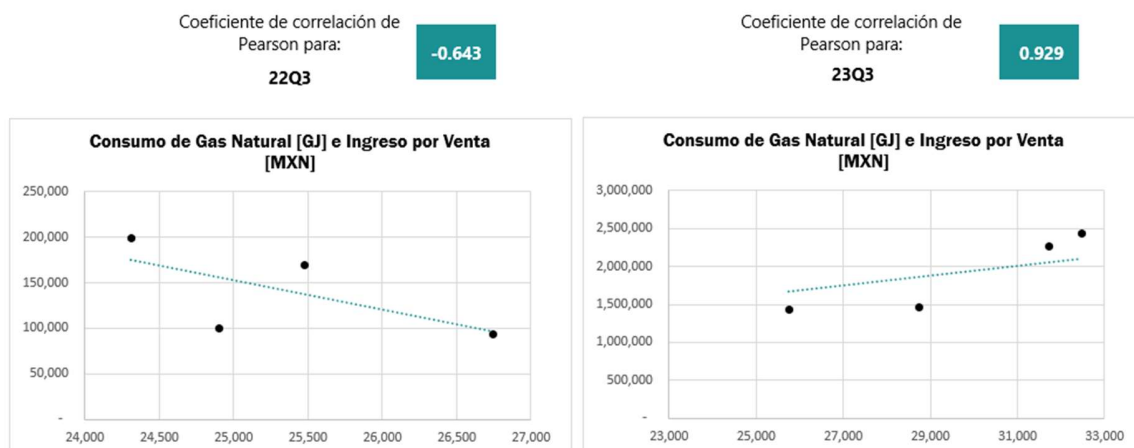


Figura 15. Comparación de Últimos Cuatrimestres 2022-2023 [Fuente Propia]

El cambio en el coeficiente de correlación de Pearson de -0.643 en 2022 a 0.929 en 2023 indica una transformación significativa en la relación entre el consumo de gas natural y el ingreso obtenido a partir del mercado eléctrico mayorista. Esto se logra gracias a las estrategias de nominación aplicadas durante el último cuatrimestre de 2023.

En 2022, el coeficiente de -0.643 sugiere una correlación negativa moderada entre el consumo de gas natural dado en GJ y el ingreso por venta de energía en pesos mexicanos. Esto significa que a medida que el consumo de gas natural aumentaba, los ingresos obtenidos a partir del mercado eléctrico mayorista tendían a disminuir, y viceversa. Esta relación podría haber sido problemática, ya que se esperaba que un mayor consumo de gas natural condujera a mayores ingresos.

En 2023, después de la implementación del simulador para analizar el mercado y la operación, el coeficiente de correlación de Pearson aumentó a 0.929; Este valor cercano a 1 indica una fuerte correlación positiva. Esto significa que a medida que el consumo de gas natural aumenta los ingresos obtenidos a partir del mercado eléctrico mayorista también tendían a aumentar, lo cual es un resultado deseable porque en cualquier fuente de ingreso se espera que entre más gastes tus recursos mayores ingresos obtendrás y no al contrario.

Este cambio dramático en el coeficiente de correlación sugiere que la implementación del simulador fue efectiva para mejorar la relación entre el consumo de gas natural y los ingresos obtenidos a partir del mercado eléctrico mayorista. Sin embargo, es importante recordar que la correlación no implica causalidad, y este cambio podría estar influenciado por otros factores no considerados en este análisis.

4.4 Prueba t para medias de dos muestras emparejadas (Pareada)

Para justificar los resultados se analizarán los datos a través de la Prueba t para medias de dos muestras emparejadas considerando un nivel de confianza del 95%, con el propósito de evaluar el incremento de la correlación entre los ingresos obtenidos por venta de energía y el consumo de gas natural. En este estudio se propone una hipótesis nula que establece que posterior a la implementación la media de cambio es menor o igual a cero ($\mu_0 \leq 0$) lo cual indica que no hubo un incremento en la correlación de ambas variables.

Por otro lado, el planteamiento de la hipótesis alternativa indica que hubo un incremento en el coeficiente de correlación entre el ingreso obtenido por venta de energía y el consumo de gas natural y su valor de las medias es considerablemente mayor ($\mu_1 > 0$). Esta evaluación se realiza a partir del valor crítico t con una cola a la derecha, que comparado con el valor del estadístico t debe ser considerablemente mayor para rechazar la hipótesis nula.

En la Tabla 6 observamos los resultados de esta prueba, donde la variable 1 es el tercer cuatrimestre de 2022 y la variable 2 mismo lapso, pero dentro del año 2023.

Tabla 6 Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	5.604556044	62.37619424
Varianza	4.943109172	161.5129689
Observaciones	4	4
Coeficiente de correlación de Pearson	-0.187752106	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	-8.532840766	
P(T<=t) una cola	0.001690802	
Valor crítico de t (una cola)	2.353363435	
P(T<=t) dos colas	0.003381604	
Valor crítico de t (dos colas)	3.182446305	

- Media:
 - La media (promedio) de Variable 1 es aproximadamente 5.60.
 - La media de Variable 2 es aproximadamente 62.38.
- Varianza:
 - La varianza de Variable 1 es aproximadamente 4.94.
 - La varianza de Variable 2 es aproximadamente 161.51.
- Observaciones:
 - Ambas variables tienen 4 observaciones cada una.
- Coeficiente de correlación de Pearson:
 - El coeficiente de correlación entre las dos variables es aproximadamente -0.19.
- Diferencia hipotética de las medias:
 - La diferencia hipotética entre las medias es 0.
- Grados de libertad:
 - Hay 3 grados de libertad en esta prueba.
- Estadístico t:
 - El valor del estadístico t es aproximadamente -8.53.
- $P(T \leq t)$ una cola:
 - La probabilidad de obtener un valor t igual o menor que el observado en una cola es aproximadamente 0.0017.
- Valor crítico de t (una cola):
 - El valor crítico de t para una cola (con un nivel de significancia del 95%) es aproximadamente 2.35.

En resumen, el estadístico t es significativamente diferente de cero, lo que sugiere que hay una diferencia significativa entre las medias de las dos variables. Además, la probabilidad de obtener este resultado por azar es muy baja. Esto respalda la idea de que la mejora en el proceso ha tenido un impacto significativo en las variables evaluadas.

En este estudio nos centraremos en la prueba para una cola que indica la mejora de la implementación en el aumento de la correlación entre consumo de gas natural e ingreso obtenido por venta de energía, con un valor crítico de 2.35 que es mucho mayor que el valor P de una cola de 0.0017.

Esto indica que hay una mejora significativa en el proceso. Por lo tanto, se puede concluir que la implementación de la mejora ha tenido un efecto significativo en la correlación entre el consumo de gas natural y los ingresos obtenidos a partir del mercado eléctrico mayorista. Rechazando la hipótesis nula.

Conclusión

En conclusión, en este estudio se analizó el mercado eléctrico mayorista en el nodo específico de Perote, con soporte de un simulador se logra una mejor nominación de exportación de energía, cumpliendo con la mejora de la correlación existente entre el consumo de gas natural y el ingreso obtenido por venta de energía en la planta de cogeneración de Perote, Veracruz.

Para lograr esta mejora se siguió una metodología a lo largo del estudio, se analizaron los precios históricos del Mercado del Día en Adelanto y el consumo de gas natural en los últimos años centrándonos en los últimos cuatrimestres de 2022 y 2023, esto ofreció un enfoque y la visibilidad de centrar el estudio en un tiempo en específico para su análisis.

Dentro de estos periodos a analizar, su indicador entre los ingresos generados por venta de energía eléctrica en el MEM y la cantidad de gas natural consumida ayudó a medir y observar los diferentes cambios y mejoras que se puede dar a partir de una nominación adaptada al Mercado Eléctrico Mayorista.

El diseño y desarrollo del simulador en la plataforma de cálculo mejoró el coeficiente de correlación entre ambas variables, dicha herramienta permite toma de decisiones informada, conocimiento y entendimiento del mercado, mayores ingresos sin el tener que desperdiciar el recurso del gas natural y el cumplimiento de los objetivos del presente estudio.

Durante el análisis se observó la distribución de los precios del mercado cambian durante las diferentes horas del día, afectados por la influencia de la generación de electricidad por la planta solar de 100 MW compartiendo nodo con la central de cogeneración. Tomando en comparación el año 2022 donde no se encontraba en operación la planta solar y en 2023 cuando entra como participante del MEM.

Se observa también que los ingresos obtenidos en el último cuatrimestre de 2023 aumentan respecto al año anterior, consumiendo la misma cantidad de gas natural, pero con una distribución de generación adaptada al mercado se puede lograr mayores ingresos.

Por último, se rechaza la hipótesis nula después de arrojar los resultados de un valor crítico de 2.35 que es mucho mayor que el valor P de una cola de 0.0017. indicando que se ha aumentado el coeficiente de correlación entre los ingresos obtenidos por venta de energía y el consumo de gas natural. Afirmando que se obtuvo una mejora significativa en el proceso.

Referencias

- [1] Diario Oficial, “Base 11 de las Bases del Mercado Eléctrico (DOF SENER 08-Sep-15)”. pp. 1–10, 2015.
- [2] Naciones Unidas, “Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna”. Consultado: el 9 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- [3] Naciones Unidas, “Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles”, 2019. Consultado: el 9 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- [4] J. Estrada Víctor, R. Víctor, y H. Ventura, “Impacto de la política de autosuficiencia, seguridad y soberanía en la transición y la integración energética regional El gas natural en México”. [En línea]. Disponible en: www.cepal.org/apps
- [5] Centro Nacional de Control del Gas Natural, “Importancia del Gas Natural”, Gobierno de México. Consultado: el 15 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cenagas/articulos/importancia-del-gas-natural?idiom=es>
- [6] S. R. Acherman, “MICHAEL FARADAY: DE ENCUADERNADOR A HOMBRE DE CIENCIA”.
- [7] G. C. ARIAS ARROYO Thomas Alva Edison, “THOMAS AL VAEDISON, EL MÁS GRANDE INVENTOR Y BIENHECHOR DE LA HUMANIDAD”.
- [8] M. Cheney, *Nikola Tesla: El genio al que le robaron la luz*, Segunda. Madrid: 2010, 2010.
- [9] L. Saucedo y Bosques José Luis, “Electricidad Básica II”.
- [10] J. M. Delgado, “Capítulo 2. LA ENERGÍA ELÉCTRICA, GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO”.
- [11] CONAHCYT, “Capacidad y generación”. Consultado: el 7 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://energia.conacyt.mx/planeas/electricidad/generacion>
- [12] CFE, “NUESTRA EMPRESA”, Historia de la CFE. Consultado: el 12 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cfe.mx/nuestraempresa/pages/historia.aspx>
- [13] Secretaría Ejecutiva y CNDH México, “Creación de la Comisión Federal de Electricidad En beneficio de la economía popular y de la nación”. Consultado: el 12 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.cndh.org.mx/noticia/creacion-de-la-comision-federal-de-electricidad-en-beneficio-de-la-economia-popular-y-de-la#_ftn1
- [14] C. Spiegel y J. I. Cifuentes, “DEFINICION E INFORMACION DE ENERGIAS RENOVABLES”.
- [15] O. P. Lamigueiro, “Energía Solar Fotovoltaica”, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/249012821>
- [16] Gobierno de la República, “Reforma Energética Resumen Ejecutivo”. Consultado: el 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164370/Resumen_de_la_explicacion_de_la_Reforma_Energetica11_1_.pdf

- [17] P. Tapia Cervantes, “Reforma energética de Peña Nieto ocasionó 10 años de rezago en transmisión: Cenace”, *Forbes México*. Consultado: el 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/reforma-energetica-de-pena-nieto-ocasiono-10-anos-de-rezago-en-transmision-cenace/>
- [18] P. Tapia Cervantes, “Sector eléctrico en 2021: de un cambio a la ley a reforma constitucional”, *Forbes México*, México, el 23 de diciembre de 2021. Consultado: el 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/negocios-sector-electrico-en-2021-de-una-cambio-a-la-ley-a-reforma-constitucional/>
- [19] I. Cota, “Un ministro de la Suprema Corte propone tumbar la reforma eléctrica de López Obrador”, *El País*, México, el 8 de septiembre de 2023. Consultado: el 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://elpais.com/mexico/economia/2023-09-08/un-ministro-de-la-suprema-corte-propone-tumbar-la-reforma-electrica-de-lopez-obrador.html>
- [20] P. Linares Llamas, “Eficiencia Energética y Medio Ambiente”, *Economía y Medio Ambiente ICE*, abr. 2009.
- [21] WordBank, “Energy Efficiency”. Consultado: el 10 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.worldbank.org/en/results/2017/12/01/energy-efficiency>
- [22] J. Cruz Ramos y H. Díaz Pérez, “Cogeneración de Energía”, feb. 2020.
- [23] G. León de los Santos, “Políticas públicas para la promoción de la cogeneración eléctrica en México”, *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, pp. 35–137, el 14 de junio de 2004.
- [24] CENACE, “CENACE. Quiénes Somos”. Consultado: el 12 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cenace.gob.mx/CENACE.aspx>
- [25] Energía, “PROYECTO DE PRESUPUESTO DE EGRESOS DE LA FEDERACIÓN 2019 ESTRATEGIA PROGRAMÁTICA”, 1, pp. 1–9, 2019, Consultado: el 12 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.ppef.hacienda.gob.mx/work/models/PPEF2019/docs/18/r18_ep.pdf
- [26] Comisión Reguladora de Energía, “¿Qué hacemos?” Consultado: el 15 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cre/que-hacemos>
- [27] Centro Nacional de Control de Energía, “¿Sabes qué es el Mercado Eléctrico Mayorista?” Consultado: el 12 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cenace/articulos/sabes-que-es-el-mercado-electrico-mayorista?idiom=es>
- [28] CRE, “Preguntas frecuentes sobre la nueva regulación en temas eléctricos”. Consultado: el 17 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cre.gob.mx/documento/faq-regulacion-electricos.pdf>

- [29] “Bases 9 y 10 de las Bases del Mercado Eléctrico (DOF SENER 08-Sep-15)”, Ciudad de México, el 8 de septiembre de 2015.
- [30] CENACE, “Contratos de Cobertura Eléctrica”. Consultado: el 17 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/ContratosCoberturaElectrica.aspx#:~:text=Los%20Contratos%20de%20Cobertura%20El%C3%A9ctrica,de%20los%20pagos%20basados%20en>
- [31] CENACE, “Mercado de Certificados de Energías Limpias (MCEL)”. Consultado: el 17 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/MercadoCEL.aspx#:~:text=Los%20Certificados%20de%20Energ%C3%ADas%20Limpas,de%20los%20Centros%20de%20Carga>
- [32] CENACE, “Mercado de Energía de Corto Plazo (MECP)”. Consultado: el 18 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/MercadoCP.aspx#>
- [33] P. J. Coldwell, “DOF: 20/01/2017 ACUERDO por el que la Secretaría de Energía emite el Manual de Transacciones Bilaterales y Registro de Contratos de Cobertura Eléctrica.”, DOF. Consultado: el 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5469477&fecha=20/01/2017#gsc.tab=0
- [34] CENACE, “Precios de Energía y Servicios Conexos MDA”. Consultado: el 18 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/Reportes/PreEnerServConMDA.aspx>
- [35] CENACE, “Requerimientos de Servicios Conexos MDA”. Consultado: el 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/Reportes/ReqServConexosMDA.aspx#:~:text=Los%20Servicios%20Conexos%20se%20definen,%2C%20Confiabilidad%2C%20Continuidad%20y%20Seguridad>
- [36] T. Seoane, J. Martín, E. Martín-Sánchez, S. LURUEÑA-Segovia, F. Alonso Moreno, y E. C. Bulevar, “formación continuada CURSO DE INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN CLÍNICA Capítulo 7: Estadística: Estadística Descriptiva y Estadística Inferencial”.
- [37] C. Leach y P. Cazau, “Fundamentos de estadística”, [En línea]. Disponible en:
<https://www.researchgate.net/publication/49303936>
- [38] D. Kelmansky, *Estadística Para Todos Estrategias de pensamiento y herramientas para la solución de problemas*.
- [39] Datatab Team, “Prueba t para muestras relacionadas”, 2024.
- [40] Banxico, “Portal del mercado cambiario”. Consultado: el 16 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.banxico.org.mx/tipcamb/main.do?page=tip&idioma=sp>
- [41] N. Navarrete Gonzáles, “MEM México”. FICE, México, 2023.

- [42] OHLA, “Planta solar fotovoltaica Perote”. Consultado: el 17 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ohla-group.com/portfolio-item/planta-solar-fotovoltaica-perote-mexico/>

Anexos

En este apartado se muestra brevemente resultados fuera del alcance de tesis provenientes de la implementación de el simulador en la operación de la central. Estos resultados se dan gracias al Mercado de Balance de Potencia y son datos aproximados a la realidad.

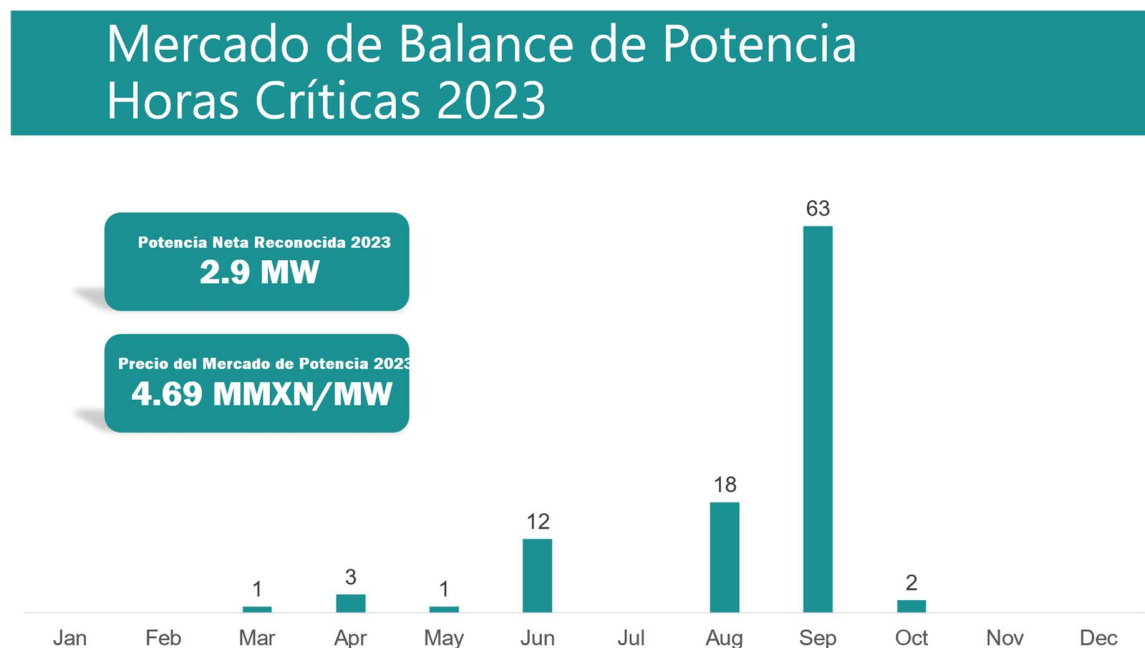


Figura 16. Horas críticas del Mercado de Potencia [Fuente Propia]

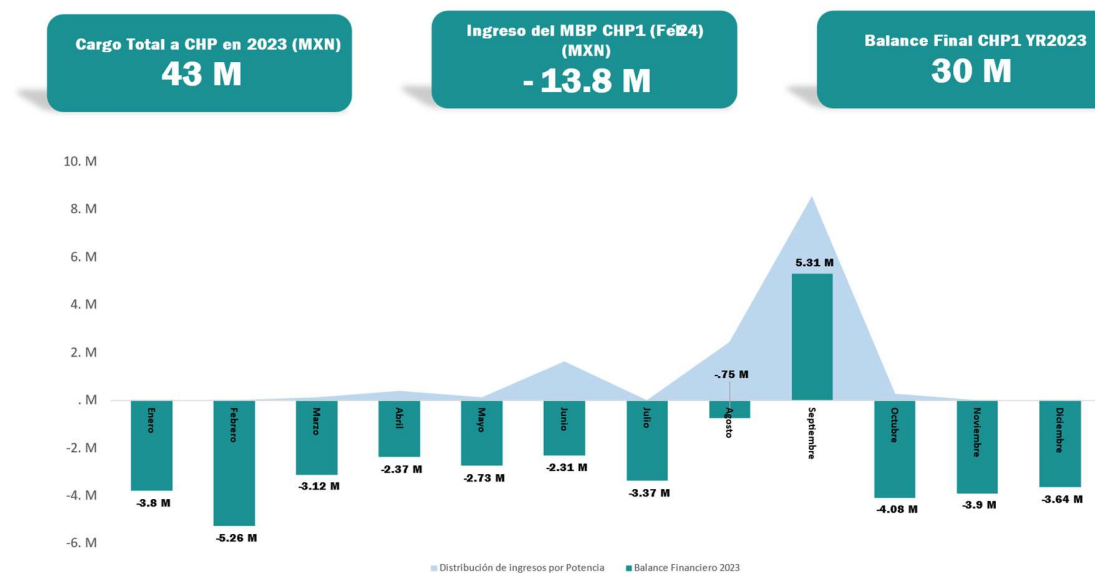


Figura 17. Balance de costos con pago de potencia [Fuente Propia]

Comparación: CFE+GN vs. CHP1

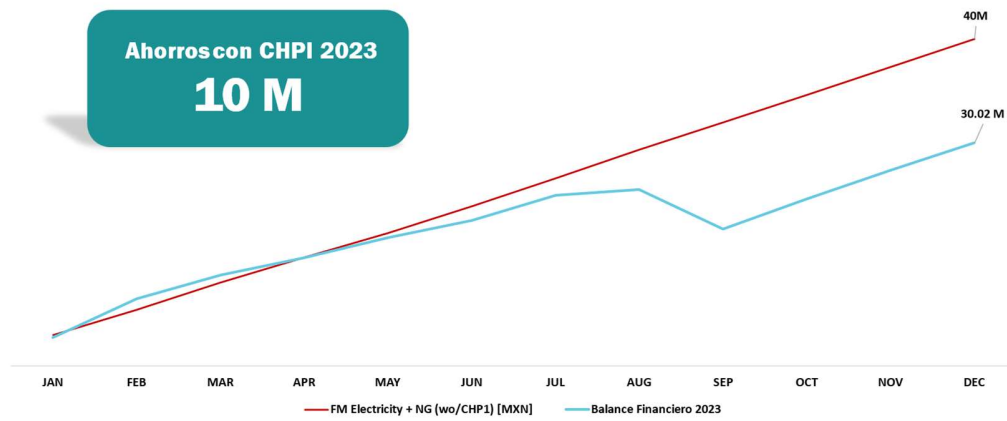


Figura 18. Ahorros 2023 [Fuente Propia]