



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS
APLICADAS

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA
METODOLOGÍA EXERGONÓMICA
GENERALIZADA PARA SISTEMAS ENERGÉTICOS**

TESIS PROFESIONAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTORADO EN INGENIERÍA Y CIENCIAS
APLICADAS

PRESENTA:

M.C.C.I. OFIR LAILANI ALVÁREZ BENITEZ

DIRECTOR: DRA. ARIANNA PARRALES BAHENA

CUERNAVACA, MORELOS

DICIEMBRE, 2025

AGRADECIMIENTOS

Agradezco, en primer lugar, a SECIHTI por la beca que me otorgó, la cual me permitió dedicarme de tiempo completo a este posgrado. Este apoyo fue importante para concentrarme en totalidad a la investigación de este trabajo.

A CIICAp por ser un espacio dónde se construye el ecosistema innovador de la UAEM.

Agradezco a mi comité tutorial: a la Dra. Arianna Parrales Bahena, por la oportunidad y la confianza depositadas en este proyecto, así como en mí, tanto como estudiante como persona; al Dr. José Alfredo Hernández Pérez, por su orientación constante, su confianza y, sobre todo, por creer en mí; a la Dra. Susana Silva Martínez, por ser un ejemplo de mujer investigadora, fuerte y líder; y a los doctores Juan Carlos García Castrejón, Armando Huicochea Rodríguez, David Juárez Romero y Jonathan Ibarra Bahena por su valiosa guía durante el proceso académico y sus enriquecedoras retroalimentaciones.

A mi grupo de compañeros, que se convirtieron en amigos entrañables y parte de mi familia. Gracias, equipo (Nancy), porque iniciamos este proceso juntas y juntas lo concluimos; gracias por tu apoyo incondicional. Harumi, gracias por tus enseñanzas, por las pláticas y por tu confianza. Alexia y Jordan, gracias por llegar al grupo a revolucionar con su sentido del humor y su espíritu de trabajo en equipo. Y a Jorge, solo una palabra para ti: *Gratias tibi!*

Mi querida y adorada Anilu, aunque no estuvimos compartiendo esta etapa, pero compartimos las pláticas y mi amistad incondicional para ti mi pequeña hermana postiza.

Gracias a Maggie y a Merle por las oportunidades de crecimiento que me brindaron, pero, sobre todo, por la amistad que se cultivó a lo largo de este camino.

DEDICATORIA

*“Cualquiera que sea la **libertad** por la que luchamos, debe ser una libertad basada en la **igualdad**”*

Judith Butler

A mis padres y hermanos, a mi familia de sangre y la de elección. A todos por acompañarme en este maravilloso camino.

RESUMEN

Esta tesis doctoral presenta y valida una metodología denominada *Costeo Exergonómico-Ambiental Basado en Actividades (ABEEC)*, cuyo propósito es evaluar y optimizar sistemas energéticos de manera integral. La propuesta metodológica se sustenta en la necesidad de disponer de herramientas analíticas que no solo consideren la eficiencia técnica de los procesos, sino también los costos asociados y su impacto ambiental.

El modelo ABEEC combina el análisis exergético tradicional con un enfoque económico detallado sustentado en la metodología de *Costeo Basado en Actividades (ABC)*. Además, integra una dimensión ambiental mediante la incorporación del factor exergético (F_{ex}), el cual establece una relación directa entre la eficiencia energética del proceso evaluado y el impacto ambiental que este genera.

Para el desarrollo de la metodología ABEEC se realizó un análisis exhaustivo de las metodologías existentes donde se identificaron sus alcances, variables comunes y limitaciones. A partir de este estudio se integraron los elementos conceptuales y técnicos necesarios para formular una propuesta metodológica integral que incluyera el análisis de la eficiencia energética, los costos y el impacto ambiental de los sistemas evaluados.

Una vez establecida, la metodología se aplicó al caso de estudio de un *Transformador Térmico por Absorción (TTA, o AHT por sus siglas en inglés)*, lo que permitió determinar su eficiencia energética, los costos de operación y el impacto ambiental asociado. Los resultados mostraron que las irreversibilidades y el costo energético del sistema se ven significativamente influenciados por la temperatura ambiente y las condiciones operativas del entorno. Entre los componentes, el evaporador y el absorbedor resultaron ser los más relevantes en términos de pérdidas de energía y costos, mientras que el condensador presentó una buena eficiencia, confirmando su papel como sumidero de exergía.

Más allá de su alcance inicial, la metodología ABEEC permite realizar análisis de sensibilidad multicriterio con los que es posible identificar configuraciones óptimas de operación según prioridades económicas, técnicas o ambientales. Esta versatilidad amplía su aplicabilidad y la posiciona como una herramienta útil para la toma de decisiones estratégicas, el rediseño de componentes y la planificación eficiente de recursos en sistemas energéticos complejos.

Por consiguiente, además de proporcionar los valores de eficiencia, costo e impacto ambiental, la metodología ABEEC ofrece beneficios adicionales, como la capacidad de anticipar el comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios, reducir la incertidumbre económica y facilitar la adaptación a distintas condiciones geográficas y del mercado energético.

También es importante mencionar que, a partir de este estudio, se reconoció que factores externos, como las condiciones geopolíticas y comerciales, influyen de manera significativa en la evaluación exergonómica. Por ello, resulta fundamental que el análisis económico incluya la influencia de la ubicación geográfica, ya que los costos, la disponibilidad de recursos y las condiciones del entorno pueden variar significativamente según el lugar donde se implemente la tecnología.

Finalmente, la aplicación del modelo ABEEC no solo favorece la escalabilidad de los sistemas, sino que también contribuye a su avance hacia los niveles 5 y 6 de madurez tecnológica (TRL), los cuales promueven su consolidación y operación en entornos reales.

SUMMARY

This doctoral thesis presents and validates a methodology called *Activity-Based Exergoeconomic-Environmental Costing* (ABEEC), whose purpose is to evaluate and optimize energy systems in an integrated manner. The methodological proposal is based on the need for analytical tools that not only consider the technical efficiency of processes but also the associated costs and their environmental impact.

The ABEEC model combines traditional exergetic analysis with a detailed economic approach grounded in the *Activity-Based Costing* (ABC) methodology. In addition, it integrates an environmental dimension through the incorporation of the exergetic factor (F_{ex}), which establishes a direct relationship between the energy efficiency of the evaluated process and its resulting environmental impact.

To develop the ABEEC methodology, an exhaustive analysis of existing approaches was conducted to identify their scope, common variables, and limitations. From this study, the conceptual and technical elements necessary to formulate an integrated methodological proposal were consolidated, incorporating the analysis of energy efficiency, costs, and environmental impact of the evaluated systems.

Once established, the methodology was applied to a case study involving an *Absorption Heat Transformer* (AHT, or TTA in Spanish), which made it possible to determine its energy efficiency, operating costs, and associated environmental impact. The results showed that the irreversibilities and energy cost of the system are significantly influenced by ambient temperature and operating conditions. Among the components, the evaporator and absorber proved to be the most relevant in terms of energy losses and costs, while the condenser exhibited good efficiency, confirming its role as an exergy sink.

Beyond its initial scope, the ABEEC methodology enables multicriteria sensitivity analyses that identify optimal operating configurations according to economic, technical, or environmental priorities. This versatility broadens its

applicability and positions it as a useful tool for strategic decision-making, component redesign, and efficient resource planning in complex energy systems.

Consequently, in addition to providing values of efficiency, cost, and environmental impact, the ABEEC methodology offers additional benefits, such as the ability to anticipate system behavior under different scenarios, reduce economic uncertainty, and facilitate adaptation to various geographic and market conditions.

It is also important to note that, based on this study, external factors such as geopolitical and commercial conditions were found to significantly influence exergoeconomic evaluation. Therefore, it is essential that economic analysis considers the influence of geographic location, since costs, resource availability, and environmental conditions can vary considerably depending on where the technology is implemented.

Finally, the application of the ABEEC model not only enhances the scalability of systems but also contributes to their advancement toward Technology Readiness Levels (TRL) 5 and 6, which promote their consolidation and operation under real-world conditions.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	III
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABLAS	XI
NOMENCLATURA	XI
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Alcance	7
1.2. Objetivo general.....	9
1.3. Objetivos específicos.....	9
1.4. Hipótesis	10
CAPÍTULO II.....	11
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Fundamentos del análisis exerгонómico	11
2.2. Primera Ley de la Termodinámica	13
2.3. Segunda Ley de la Termodinámica	15
2.4. Termoeconomía.....	16
2.5. Metodologías exergonómicas más relevantes	19
2.5.1. Exergy Economics Approach (EEA).....	19
2.5.2. Thermoeconomic Functional Analysis (FEA).....	20
2.5.3. Last In, First Out (LIFO).....	20
2.5.4. Análisis Funcional de Ingeniería (EFA).....	21
2.5.5. Specific Exergy Costing (SPECOC).....	21
2.5.6. Theory of Exergetic Cost (TEC)	22

2.6. Sistema ABC.....	23
CAPÍTULO III.....	27
3. METODOLOGÍA	27
3.1. Análisis por sistema ABC	30
3.2. Análisis exergonómico.....	32
3.3. Dimensión ambiental	34
3.4. Optimización y toma de decisiones	35
CAPÍTULO IV	38
4. RESULTADOS	38
4.1. Sistema de prueba.....	38
4.2. Análisis por sistema ABC	40
4.3. Análisis exergonómico.....	43
4.4. Dimensión ambiental	48
4.5. Optimización y toma de decisiones	50
CAPÍTULO V	53
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
ANEXO 1	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Consumo mundial de combustibles fósiles durante el periodo 2013–2023.....	2
Figura 2. Variación histórica del precio del petróleo durante el periodo 1960-2019.....	3
Figura 3. Evolución del número de estudios sobre metodologías exergonómicas en el periodo 1985–2020.....	6
Figura 4. Interacción entre energía, exergía y entropía en sistemas termodinámicos.....	12
Figura 5. Aplicaciones de la Primera Ley de la Termodinámica en sistemas y procesos energéticos.....	14
Figura 6. Conceptos clave asociados a la Primera Ley de la Termodinámica....	15
Figura 7. Sistema térmico. (a) Esquema de componente de un sistema térmico. (b) Estructura productiva.....	22
Figura 8. Clasificación de costos.....	24
Figura 9. Pasos de sistema ABC.....	25
Figura 10. Diagrama de Causa y Efecto en el sector energético.....	28
Figura 11. Estructura general de ABEEC.....	29
Figura 12. Ejemplo de representación visual del funcionamiento de un sistema...	31
Figura 13. Estructura productiva del AHT.....	41
Figura 14. Costo por dispositivo del AHT.....	42
Figura 15. Mapa de calor de temperatura ambiente en el estado de Morelos....	43
Figura 16. Comportamiento exergético de componentes principales del AHT a temperatura máxima.....	44
Figura 17. Comportamiento exergético de componentes principales del AHT a temperatura media.....	45
Figura 18. Comportamiento exergético de componentes principales del AHT a temperatura mínima.....	46
Figura 19. Diagrama de Sankey de cada uno de los componentes del AHT.....	46
Figura 20. Evolución temporal del costo exergonómico por cada componente del AHT.....	47
Figura 21. Comportamientos del F_{ex} de los principales componentes del AHT..	49
Figura 22. Análisis de sensibilidad para AHT.....	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aplicaciones de metodologías exerгонómicas en diferentes tipos de sistemas energéticos.....	5
Tabla 2. Ejemplo de identificación de actividades y recursos exergeticos.....	30
Tabla 3. Parámetros de operación del Transformador de Calor de Absorción....	39
Tabla 4. Configuración óptima para AHT.....	51

NOMENCLATURA

Símbolo	Descripción	Unidad
ΔU	Cambio interno de la energía	J
Δt	Vida útil del sistema	años
μ	Potencial químico del componente	kJ/mol
ψ	Exergía de una corriente por unidad de masa	J
λ_{ee}	Precio de la energía eléctrica	USD\$
c	Concentración de sustancia	mol/L
C	Costo original de la maquinaria	USD\$
d	Tasa de depreciación anual	% anual
D	Depreciación	USD\$
e	Exergía total	J
ε	Eficiencia energética	Adimensional
Ex	Exergía total	J
Ex_p	Exergía producida	J
Ex_d	Exergía destruida	J
h_0	Entalpía	kJ/kg
i	Tasa de inflación	% anual
\dot{i}	Irreversibilidades de los procesos	kW
I	Suma de las irreversibilidades térmicas	kW
U	Energía interna	J
F	Valor futuro de precio	USD\$
F_{ex}	Factor exergetico	Adimensional
\dot{m}_i	Flujo másico falta especificar Ec. 8 y 9	kg/s

n	Periodo determinado	años
P	Valor determinado / Presión	kPa
Q	Calor	J
S	Entropía	J/K
T	Temperatura	Kelvin (K), Celsius (°C)
T_0	Temperatura ambiente	Kelvin (K)
T_j	Temperatura de operación del componente o corriente de energía	Kelvin (K)
W	Trabajo	W
ω	Pesos asignados al criterio económico Ec. 15	Adimensional
x	Cantidad de energía eléctrica utilizada	J
X	Concentración	% <i>wt</i>
Z_t	Costo total	USD
Z_i	Inversión inicial	USD
Z_{op}	Costos de operación	USD
Z_{mtto}	Costos de mantenimiento	USD
Z_{total}	Costo agregado de los componentes	USD
Subíndice		
i	Componente	
0	Estado de referencia o entorno	
AB	Absorbedor	
CO	Condensador	
EV	Evaporador	
GE	Generador	

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico y el aumento de la población, observados en las últimas décadas, han propiciado un incremento continuo en la demanda mundial de energía. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), este patrón de consumo no solo ha contribuido de manera significativa a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), sino también al deterioro ambiental y al agotamiento de los recursos naturales (UNFCCC, 2021).

Ante esta problemática, dicho organismo internacional impulsó la *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*, que en su Objetivo 7, propone garantizar el acceso a una energía asequible, segura y no contaminante (ONU, 2020); lo que ha marcado la pauta hacia una transición energética basada principalmente en la eficiencia y en el uso de fuentes renovables.

Sin embargo, los avances hacia este nuevo modelo energético aún resultan insuficientes. De acuerdo con el Energy Institute (2024), durante 2023 el consumo global de combustibles fósiles volvió a niveles similares a los registrados antes de la pandemia de COVID-19, como se muestra en la **Figura 1**. Este aumento confirma que gran parte del crecimiento energético mundial sigue sustentándose en fuentes fósiles, especialmente en las naciones con un mayor grado de industrialización.

El vínculo entre el desarrollo económico y el uso de energía explica en gran medida esta situación. A medida que las economías se expanden, también aumenta la demanda energética necesaria para sostener el ritmo de producción y consumo (Yildiz et al., 2022). No obstante, el uso de fuentes fósiles como principal suministro energético no solo responde a razones económicas o tecnológicas, sino también a una cultura energética que, durante décadas, ha normalizado su empleo como fuente predominante.

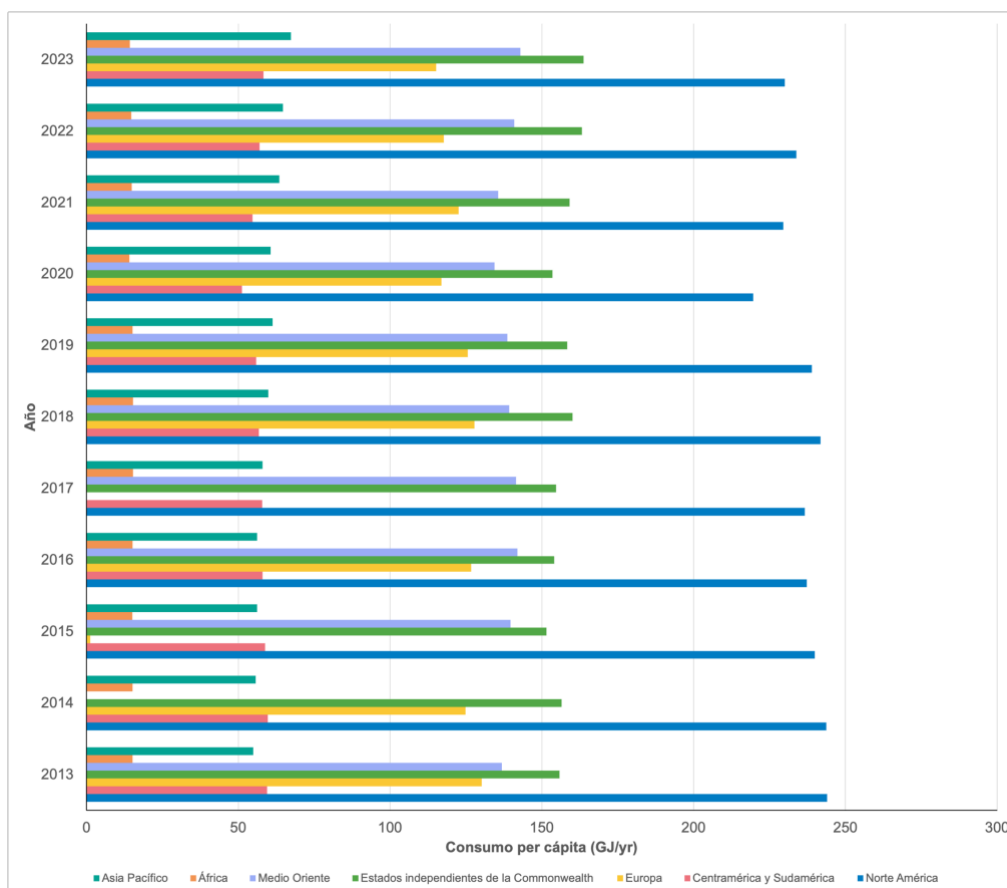


Figura 1. Consumo mundial de combustibles fósiles durante el periodo 2013–2023 (Energy Institute, 2024).

Este arraigo ha dificultado la adopción de alternativas más sostenibles, lo que explica que, pese a los compromisos internacionales asumidos, los esfuerzos por fomentar el uso de energías limpias y reducir las emisiones sigan siendo limitados y que, en consecuencia, las repercusiones ambientales continúen recibiendo una atención insuficiente (Uddin et al., 2017).

A esta situación se suma la fuerte dependencia de muchas economías al precio volátil de las fuentes fósiles, en especial del petróleo, cuyos precios han experimentado fluctuaciones significativas durante la última década (como se puede observar en la **Figura 2**). Estas variaciones evidencian la vulnerabilidad de los países ante crisis energéticas y económicas derivadas del modelo de consumo actual, lo que demuestra que este no solo es ambientalmente insostenible, sino también económicamente frágil; por lo que, constituye un

motivo adicional para replantear la forma en que se produce y se utiliza la energía.

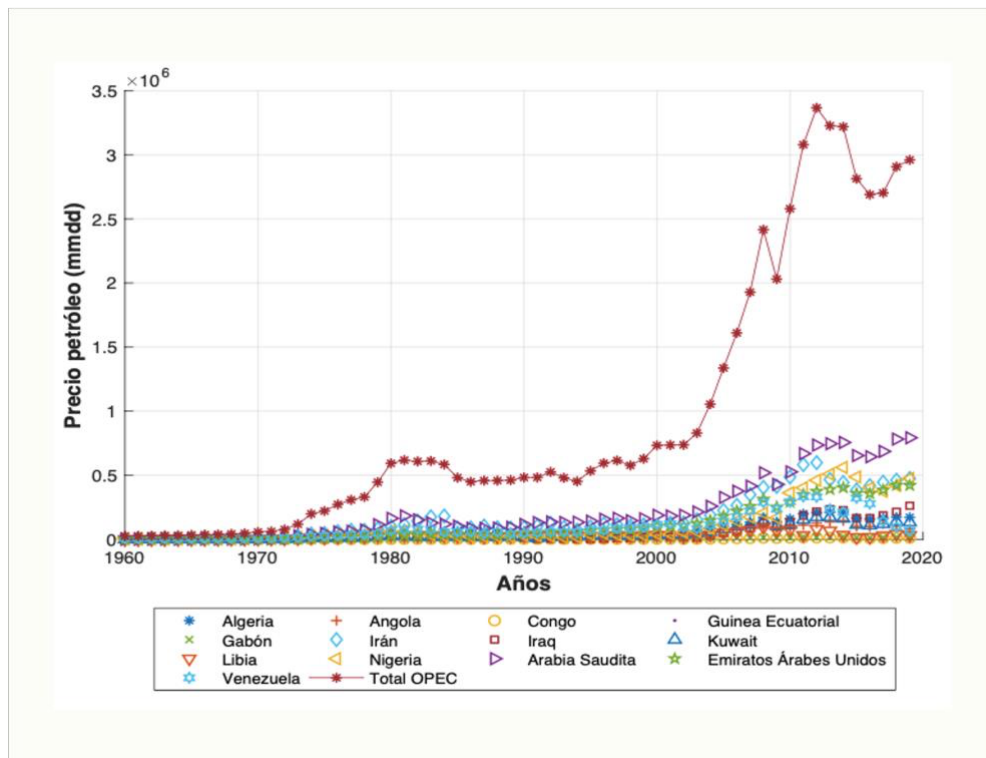


Figura 2. Variación histórica del precio del petróleo durante el periodo 1960-2019 (Álvarez et al., 2021).

Por tanto, para avanzar realmente hacia un modelo de consumo energético sostenible, no basta con sustituir las fuentes convencionales por recursos renovables; es indispensable optimizar la manera en que la energía es utilizada y transformada. Solo a través de un aprovechamiento más eficiente será posible reducir las pérdidas asociadas a los procesos de conversión y, con ello, obtener beneficios tanto ambientales como económicos en todos los sectores productivos. Esta visión integral permite reconocer que la sostenibilidad no depende únicamente del origen de la energía, sino también de la calidad con la que esta se emplea dentro de los sistemas.

En este sentido, distintos autores han desarrollado sistemas de evaluación energética, los cuales han sido basados principalmente en los principios de la Primera y la Segunda Ley de la Termodinámica. Estos métodos

permiten localizar los puntos donde se producen las mayores pérdidas de energía y de calidad durante los procesos de conversión. La Primera Ley establece la conservación de la energía, mientras que la Segunda introduce el concepto de irreversibilidad y explica cómo parte de esa energía se degrada y pierde su capacidad de generar trabajo útil. Esta doble perspectiva facilita identificar pérdidas, establecer prioridades de mejora y definir las intervenciones más efectivas en sistemas energéticos complejos (Velasco et al., 2011).

Sin embargo, los análisis termodinámicos por sí solos no son suficientes; es imprescindible incorporar criterios económicos para que sus resultados trasciendan el ámbito académico y se conviertan en herramientas efectivas de apoyo a la toma de decisiones. Solo al traducir las pérdidas termodinámicas y la degradación de la calidad energética en métricas económicas será posible evaluar la viabilidad real de las alternativas tecnológicas (Destek y Sarkodie, 2019).

Bajo esta perspectiva, las metodologías exergonómicas surgen como una herramienta clave para vincular los aspectos energéticos y económicos dentro de un mismo marco de análisis. Estas metodologías permiten asignar un valor monetario a la exergía (entendida como la medida de la calidad de la energía), lo que posibilita cuantificar el costo de las pérdidas energéticas y evaluar la eficiencia económica de cada componente o proceso. Así, el análisis exergonómico amplía la utilidad de la termodinámica al ofrecer una visión integral del desempeño y de los costos asociados a los sistemas energéticos (Tsatsaronis y Pisa, 1994).

Sin embargo, a pesar del potencial de estas metodologías, actualmente no existe una propuesta que pueda aplicarse de forma transversal a diferentes tipos de sistemas energéticos. Como lo destaca Velasco et al. (2011), las metodologías actuales suelen ser específicas para ciertos contextos, lo que restringe su aplicación y dificulta comparaciones estandarizadas. Esta limitación resalta la necesidad de contar con una metodología exergonómica generalizada que permita evaluar, optimizar y comparar sistemas diversos.

La **Tabla 2** presenta un conjunto de estudios que han aplicado metodologías exergonómicas en contextos diversos como plantas industriales, motores térmicos y sistemas de refrigeración.

Tabla 2. Aplicaciones de metodologías exergonómicas en diferentes tipos de sistemas energéticos (Elaboración propia).

Autor	Aplicación	Resultados destacados
Fals et al. (2010)	Planta de cogeneración en una empresa tipo azucarera	Se obtuvo una eficiencia exergética de 17% con un costo termoeconómico de 0.55€/s.
Baghernejad y Yaghoubi (2011)	Sistema de energía solar de ciclo combinado	Como resultado se optimizó el sistema en un 11% y la unidad de costo eléctrico en un 13%.
Farshi et al. (2013)	Sistemas de refrigeración por absorción de doble efecto	Influencia de parámetros operativos en el costo de inversión
Yildirim y Ozgener (2012)	Planta geotérmica	Evaluación de eficiencia energética y exergética así como de los costos de mantenimiento por tipo de fluido
Fazelpour y Morosuk (2014)	Máquina de refrigeración	Disminución del costo del producto final en un 14%
Calise et al. (2016)	Sistema de poli generación geotérmico-solar	El modelo muestra que la eficiencia de exergía varía entre un 40% y 50% durante la recuperación de calor y un 16% a 20% durante el enfriamiento.
Aghbashlo et al. (2018)	Motor DI Diesel con diferentes combustibles	El estudio determinó cuáles eran las composiciones de combustible y de operación óptimas en términos termodinámicos y económicos.
Aghbashlo et al. (2019)	Planta de residuos sólidos integrada con un sistema de biogás	Uno de sus resultados indica que se debe minimizar el costo de inversión del digestor para obtener un mejor rendimiento exergoeconómico de la planta.

Estos estudios evidencian una creciente atención hacia las metodologías exergonómicas. De hecho, esta tendencia se acentúa a partir de 2015, como se

muestra en la **Figura 3**, coincidiendo con la entrada en vigor de la Agenda 2030 y el impulso global hacia modelos energéticos más sostenibles.

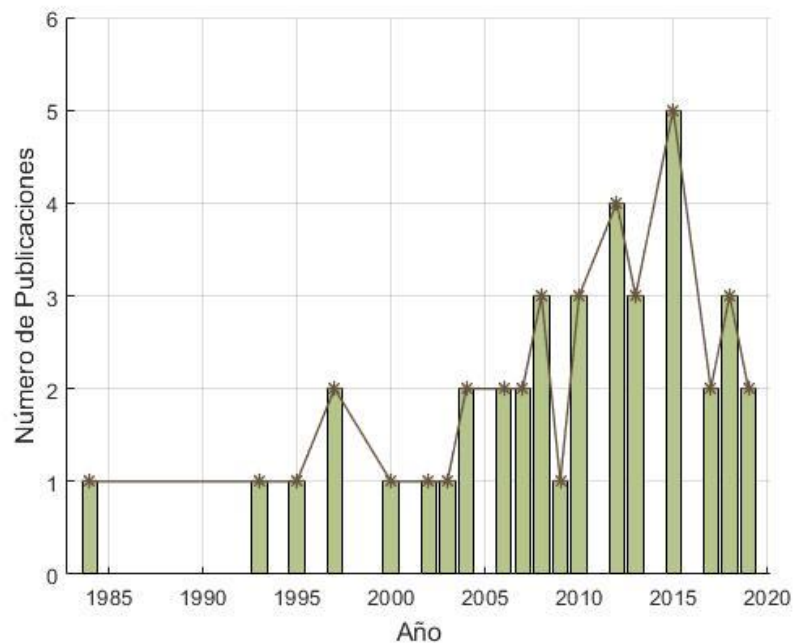


Figura 3. Evolución del número de estudios sobre metodologías exergonómicas en el periodo 1985–2020 (Elaboración propia).

Algunas metodologías exergonómicas, como SPECO o EEA, han demostrado una gran utilidad; sin embargo, su aplicación suele ser sectorial y limitada a condiciones específicas, lo que dificulta la comparación entre estudios y restringe la transferencia de resultados. Por consiguiente, se requiere una aproximación más generalizable que armonice los criterios energéticos, económicos y ambientales, y que, al mismo tiempo, favorezca la replicabilidad, la comparabilidad y la aplicación práctica de los análisis exergonómicos en distintos contextos.

Por consiguiente, el presente trabajo propone una metodología exergonómica generalizada basada en el sistema *Costeo Basado en Actividades* (ABC). Esta metodología permite identificar los costos reales de cada componente al vincularlos con el consumo de sus respectivas actividades, lo que posibilita un análisis más preciso y útil para la toma de decisiones. Además, integra una dimensión ambiental mediante la incorporación del factor exergético

(F_{ex}), el cual establece una relación directa entre la eficiencia energética del proceso evaluado y el impacto ambiental que este genera.

El desarrollo e implementación de esta metodología exergonómica generalizada permitirá identificar las limitaciones metodológicas y de aplicabilidad de los enfoques exergonómicos existentes y fortalecer la evaluación energética desde un enfoque estratégico.

Esta propuesta busca beneficiar al ámbito académico mediante la generación de nuevo conocimiento; al sector tecnológico, al facilitar el escalamiento de soluciones limpias; a la industria, mediante evaluaciones integrales de eficiencia; y a la sociedad, al sentar las bases para políticas públicas orientadas a la sostenibilidad. Además, su aplicación permitirá desarrollar modelos predictivos y simulaciones que apoyen la toma de decisiones en tiempo real, lo que la convertiría en una herramienta clave para afrontar los desafíos energéticos actuales y futuros.

1.1. Alcance

La presente tesis se enfoca en el desarrollo y aplicación de una metodología exergonómica generalizada que integra los aspectos energéticos, económicos y ambientales en el análisis de sistemas energéticos. Esta metodología busca superar las limitaciones de los enfoques tradicionales mediante la incorporación de herramientas específicas de contabilidad de costos (como el sistema *Costeo Basado en Actividades ABC*) y conceptos de la teoría económica, como el costo de oportunidad, en la evaluación y optimización de plantas energéticas.

Dado que los sistemas energéticos, al igual que otros mercados, están sujetos a las leyes de la oferta y la demanda, su comportamiento dinámico puede dar lugar a tres escenarios fundamentales: equilibrio, exceso o escasez. Estas fluctuaciones generan ineficiencias que afectan tanto la confiabilidad del suministro como los costos de operación. En este sentido, resulta fundamental

desarrollar metodologías de análisis que permitan identificar, cuantificar y minimizar dichas ineficiencias, contribuyendo a mantener el equilibrio energético, optimizar los recursos disponibles y favorecer una transición sostenible (Choukri et al., 2017).

Por consiguiente, el alcance de esta tesis doctoral contempla la representación global del sistema energético mediante una estructura exergonómica, compuesta por:

- ⇒ El análisis detallado de los flujos de exergía en cada componente del sistema evaluado.
- ⇒ La estimación del costo de oportunidad asociado a la destrucción o pérdida de exergía, interpretado como una pérdida de valor económico potencial.
- ⇒ El cálculo y asignación de costos económicos precisos mediante el uso del sistema *Activity-Based Costing* (ABC), lo que permite un rastreo más exacto de los recursos y la identificación de puntos críticos de mejora.
- ⇒ La identificación de los escenarios operativos —equilibrio, exceso o escasez— desde una perspectiva energética y económica.
- ⇒ La integración de variables ambientales en etapas posteriores de validación experimental, con un enfoque orientado a la sostenibilidad.
- ⇒ La aplicación y validación de la metodología en un *Transformador Térmico por Absorción* (AHT) como caso de estudio representativo, con el fin de comprobar su utilidad práctica y adaptar el modelo a una configuración real.

Esta nueva metodología, al no estar limitada a un tipo específico de sistema energético y poseer un carácter generalizable, permite su aplicación en diversas tecnologías, como sistemas de cogeneración, plantas híbridas, equipos de refrigeración por absorción o procesos industriales termoquímicos. Asimismo, su implementación puede escalarse desde proyectos piloto hasta instalaciones de mayor capacidad, adaptándose a distintos niveles de madurez tecnológica (Technology Readiness Level, TRL) y facilitando su incorporación a mercados reales.

Por último, esta nueva metodología permitirá estimar de forma más rigurosa el impacto económico del desempeño energético de la planta analizada (*Absorption Heat Transformer*, AHT) y de otras instalaciones con características similares, aportando una herramienta de apoyo para la toma de decisiones estratégicas.

1.2. Objetivo general

Diseñar e implementar una metodología exergonómica ambiental generalizada con la finalidad de determinar las eficiencias de los sistemas energéticos y su impacto ambiental - económico.

1.3. Objetivos específicos

- Realizar la búsqueda de las diferentes metodologías exergonómicas reportadas en la literatura.
- Analizar cada una de las metodologías a fin de establecer características comunes e identificar variables relacionadas al costo y diseño.
- Desarrollar una metodología exergonómica ambiental generalizada que integre análisis termodinámico, contabilidad de costos y criterios ambientales, orientada a la evaluación de sistemas energéticos.
- Implementar y validar la metodología propuesta en el Transformador Térmico por Absorción (AHT) para recopilar datos y calcular indicadores asociados a ineficiencias termodinámicas, destrucción y pérdida de exergía, así como su costo exergonómico.
- Proponer recomendaciones de diseño, operación y políticas basadas en los resultados del AHT, orientadas a optimizar la eficiencia exergética y reducir el impacto ambiental-económico.

1.4. Hipótesis

Se postula que con el desarrollo y aplicación de una metodología exergonómica generalizada se proporcionará una herramienta para comprobar la sostenibilidad y optimización de los sistemas energéticos. Dicha propuesta integrará principios termodinámicos, como la exergía, para evaluar la eficiencias económica, tecnológica y ambiental en los procesos energéticos.

También proporcionará un marco para tomar decisiones informadas durante la planificación, configuración y diseño de los sistemas energéticos con la finalidad de garantizar la adopción de medidas que maximicen tanto los beneficios económicos como los ambientales sin comprometer la eficiencia tecnológica.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos del análisis exergonómico

Comprender cómo la energía se transforma, se degrada y se pierde en un sistema constituye una de las tareas más antiguas de la ingeniería. No obstante, limitarse a describir únicamente la dinámica energética resulta insuficiente cuando se busca evaluar un desempeño integral.

En la década de los setenta, varios estudios mostraron que sistemas con igual eficiencia energética diferían notablemente en sus costos de operación. Esta situación impactaba directamente en las evaluaciones financieras y reveló la necesidad de incorporar en los análisis no solo la cantidad, sino también la calidad útil de la energía y el costo de los recursos empleados, dando así origen a un nuevo enfoque: el análisis exergonómico.

El término *exergonómico* nace de la unión de dos conceptos esenciales: la exergía, que mide la calidad y el potencial útil de una determinada forma de energía, y la economía, que permite asignar un valor a los recursos consumidos o perdidos. Así, el análisis exergonómico no se limita a cuantificar pérdidas energéticas, sino que traduce esas pérdidas en términos de costo. De esta manera, cada destrucción de exergía deja de ser solo una magnitud física para convertirse también en una señal económica, vinculando directamente la termodinámica con la rentabilidad de un proceso.

En décadas recientes, el análisis exergonómico se ha consolidado como una herramienta clave para el diseño y la optimización de sistemas térmicos, ya que permite un balance adecuado entre eficiencia técnica y viabilidad económica. De forma complementaria, y ante el avance de la normatividad ambiental, el enfoque busca extenderse hacia la inclusión de la evaluación del impacto ecológico, lo que podría permitir la valoración de la sostenibilidad de los procesos.

De acuerdo con Dincer y Rosen (2013), la exergonomía se respalda principalmente en la relación que existe entre la **energía**, la **exergía** y la **entropía**, tres magnitudes que describen la cantidad, la calidad y la degradación de la energía en los sistemas termodinámicos. Mientras la energía cuantifica la cantidad total disponible, la exergía determina la fracción que puede transformarse en trabajo útil, y la entropía representa las irreversibilidades que limitan dicha transformación (**Figura 4**).

Es decir, aunque la energía total en un sistema permanece constante según la primera ley de la termodinámica, su calidad puede degradarse durante los procesos, lo que se refleja en un aumento de la entropía conforme a la segunda ley. En consecuencia, la exergía disminuye debido a las ineficiencias inherentes a la conversión de energía en trabajo útil. Así, tanto la entropía como la exergía se ven directamente afectadas por la forma en que la energía se transforma y se utiliza en los procesos.

Comprender esta interacción permite evaluar no solo el desempeño técnico de un proceso, sino también su impacto económico y ambiental, ya que toda destrucción de exergía implica un consumo adicional de recursos y, en consecuencia, un aumento en los costos y en la carga ambiental asociada.

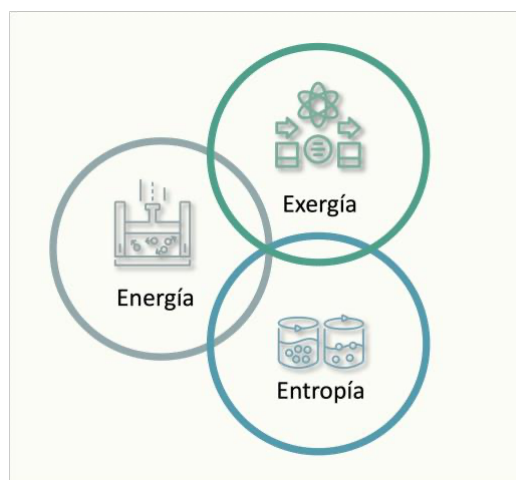


Figura 4. Interacción entre energía, exergía y entropía en sistemas termodinámicos (Elaboración propia).

Así, puede observarse que el comportamiento de la exergía y la entropía está directamente gobernado por la Primera y la Segunda Ley de la Termodinámica, aspectos que se describen con mayor detalle en la sección siguiente.

2.2. Primera Ley de la Termodinámica

Para entender uno de los conceptos principales de la exergonomía, en este caso la exergía, es necesario comenzar con la comprensión de la Primera y la Segunda Ley de la Termodinámica. Esta sección se ocupará para el desarrollo teórico de la Primera Ley de la Termodinámica (PLT).

De acuerdo con Jaramillo-Salgado (2008), la PLT es una versión de la ley de conservación de la energía que se encuentra adaptada para los sistemas termodinámicos. Afirma que la energía interna de un sistema aislado es constante, siempre y cuando no sea alterada por la transferencia de trabajo o calor. Es decir, la energía no puede ser creada ni destruida y sólo puede transformarse de una forma a otra o bien, transferirse de un sistema a otro.

Matemáticamente, se puede expresar como lo indica la **Ecuación (1)**, dónde ΔU representa el cambio de interno de la energía, Q la cantidad de calor transferido y W el trabajo realizado por el sistema sobre sus alrededores.

$$\Delta U = Q - W \quad (1)$$

Es importante señalar que la Primera Ley de la Termodinámica (PLT) puede aplicarse en una amplia variedad de campos donde ocurren transferencias y transformaciones de energía (**Figura 5**). En el análisis energético de los sistemas, esta ley permite determinar cómo se transforma y conserva la energía, desde procesos químicos y reacciones a pequeña escala hasta máquinas térmicas y plantas industriales.

Su aplicación también resulta esencial en el diseño y evaluación de equipos —como motores, refrigeradores o sistemas de calefacción—, donde permite identificar y reducir las pérdidas energéticas lo que favorece a un uso más eficiente de la energía y contribuye a orientar el desarrollo hacia un futuro energético más sostenible (Dincer y Rosen, 2013).



Figura 5. Aplicaciones de la Primera Ley de la Termodinámica en sistemas y procesos energéticos (Elaboración propia).

En el trabajo presentado por Gislason y Craig (2002) se muestra una aplicación de la PLT, donde mediante datos experimentales se observa la relación que existe entre el calor (Q), el trabajo (W) y la energía interna (U) de un sistema. En su estudio, los autores analizaron los procesos reversibles e irreversibles en el comportamiento de un gas ideal y destacaron la importancia de comprender con precisión estos conceptos para lograr interpretar adecuadamente los fenómenos de transferencia de energía. Su trabajo resulta relevante porque distingue entre la representación local y global de la termodinámica y enfatiza la necesidad de adaptar adecuadamente el análisis al nivel del sistema considerado.

En general, estos autores coinciden en que la PLT exige una comprensión clara de los principios que describen la transferencia y transformación de energía, ya que de ello depende la correcta interpretación y cálculo de los procesos involucrados en los sistemas termodinámicos. Los conceptos fundamentales que sustentan este enfoque se representan en la **Figura 6**.

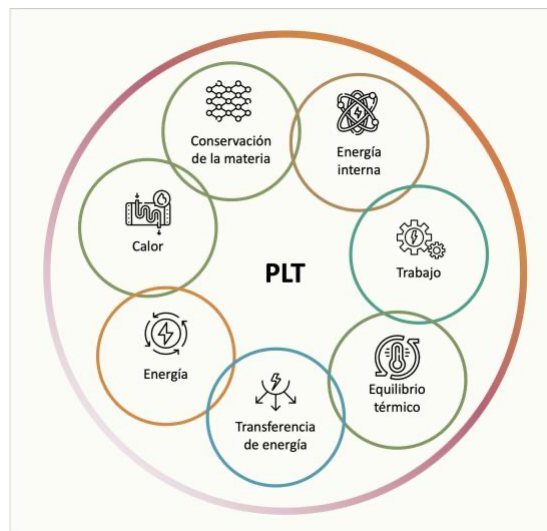


Figura 6. Conceptos clave asociados a la Primera Ley de la Termodinámica (Elaboración propia).

2.3. Segunda Ley de la Termodinámica

La Segunda Ley de la Termodinámica (SLT) es un principio que afirma que la entropía total de una masa de control se incrementa con el tiempo. Esto indica que los procesos termodinámicos son propiamente irreversibles y siempre tendrán una producción de entropía (Szargut, 2005).

La entropía (S) representa la medida del desorden de las partículas que se encuentran en un sistema. Esta medida se puede definir como la cantidad de energía no disponible para llevar a cabo un trabajo dentro de un proceso a una temperatura dada, lo que la convierte en un indicador de la degradación o dispersión de energía.

Según la SLT, la entropía tiende a aumentar dentro de un proceso natural; es decir, que los sistemas pueden cambiar a estados con un mayor desorden perdiendo capacidad energética para realizar un trabajo. Es por ello que, en un sistema termodinámico, la entropía puede asociarse directamente con las irreversibilidades o las ineficiencias que se encuentren presentes (Grecos y Prigogine, 1982).

Este cambio se puede calcular por la **Ecuación (2)**, dónde (Q) representa el calor intercambiado a una temperatura (T) en unidades Kelvin.

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (2)$$

Asimismo, la SLT puede interpretarse a partir del rendimiento de las máquinas térmicas, al establecer que ninguna de ellas puede operar con una eficiencia total; es decir, que siempre habrá degradación de energía que se pierda en forma de calor hacia el ambiente. Por lo que, la exergía total (e) de una corriente en un punto i , en relación con un estado de referencia o entorno (0) puede ser expresada de acuerdo con la **Ecuación (3)**:

$$e_i = h_i - h_0 - T_0(s_i - s_0) + \sum_i (\mu_i c_i - \mu_0 c_0) \quad (3)$$

donde h_0 y T_0 son propiedades que se especifican a partir del estado de referencia seleccionado y el término $\sum_i (\mu_i c_i - \mu_0 c_0)$ constituye la exergía química.

2.4. Termoeconomía

La relación entre las leyes de la termodinámica y la economía fue planteada por primera vez por el Premio Nobel de Química Frederick Soddy, quien propuso que los principios físicos también podían aplicarse al análisis de

los sistemas económicos. En sus escritos, Soddy retomó las ideas de Adam Smith sobre la producción y el valor, pero las reinterpreto desde una perspectiva energética, donde toda actividad económica implica transferencias y transformaciones de energía. A partir de esta visión, introdujo nuevos conceptos, como el de tecnocracia, entendido como la aplicación de principios científicos y técnicos en los procesos productivos para alcanzar mayores niveles de eficiencia y calidad (Harrod, 1927).

Frederick Soddy propuso analizar los sistemas económicos desde la perspectiva de las leyes de la termodinámica, considerando que tanto las economías como los sistemas físicos dependen de los flujos de energía y de materiales. De esta manera, estableció un paralelismo entre las máquinas y las comunidades humanas, señalando que en ambos casos se cumple el principio de conservación de la energía: nada se crea de la nada, y toda producción requiere transformar recursos naturales en bienes o servicios mediante el consumo de energía.

Al trasladar la SLT al ámbito económico, Soddy destacó que la energía, aunque se conserva, pierde calidad con cada transformación. Introdujo así el concepto de entropía como una metáfora de la degradación de los recursos naturales, advirtiendo que ningún sistema económico puede sostener un crecimiento indefinido. En este contexto, propuso que las políticas económicas debían reconocer las limitaciones termodinámicas del planeta y buscar utilizar la energía y los materiales de forma eficiente y sostenible.

Décadas más tarde, el concepto de exergía comenzó a integrarse formalmente en el ámbito económico. A inicios de la década de 1970, El-Sayed y Evans (1970) propusieron un enfoque pionero que integraba los principios de la exergía con un concepto de economía interna, entendido como la valoración relativa de los flujos energéticos dentro de un sistema. Su propuesta buscaba optimizar la interacción entre subsistemas y reducir las pérdidas de exergía, sin emplear aún unidades monetarias. Estos planteamientos constituyeron uno de los primeros antecedentes conceptuales de la exergonomía moderna, la cual,

años más tarde, sería formalizada con la incorporación explícita del análisis económico.

A partir de los fundamentos teóricos planteados por El-Sayed y Evans (1970), la integración formal entre la exergía y la economía se consolidó durante el *Joint European Thermodynamics Conference* celebrado en Roma en 1987, donde Tsatsaronis, Gaggioli y El-Sayed presentaron un estudio pionero sobre el diseño y análisis termo-económico de una central eléctrica (Álvarez et al., 2021). Dentro de la problemática, ellos identificaron que la incertidumbre en la variación de los precios del petróleo influye en gran medida en los análisis de los sistemas energéticos y por ello, consideraron apto el vincular los términos de exergía y economía. Este trabajo marcó un punto de partida para el desarrollo de los análisis exergonomicos, al incorporar explícitamente los costos monetarios asociados a los flujos de exergía dentro de los procesos energéticos.

A partir de entonces, Tsatsaronis propuso diversas metodologías sistemáticas como SPECO (*Specific Exergy Costing*) y EXCOST, que permitieron asignar valores económicos a cada corriente de materia y energía, así como identificar los puntos de mayor ineficiencia y orientar estrategias de optimización termo-económica. Con estas aportaciones, la exergonomía se consolidó como una disciplina aplicada, esencial para la evaluación integral de los sistemas energéticos.

A partir de estos principios, la exergonomía puede entenderse como el costo de la unidad exergética expresado en términos monetarios (Tsatsaronis & Pisa, 1994), el cual se determina a partir de la producción o destrucción de exergía para asignar un valor económico a un proceso o sistema. En este sentido, el análisis exergonómico combina los fundamentos de la termodinámica y la economía para cuantificar el costo asociado a la exergía dentro de un sistema.

2.5. Metodologías exergonómicas más relevantes

En esta sección se retomarán las metodologías exergonómicas que presentan mayor relevancia dentro de esta disciplina.

2.5.1. Exergy Economics Approach (EEA)

Uno de los trabajos más influyentes fue el propuesto por Gaggioli y Wepfer (1980). Si bien no presentan una metodología formal, presentan un enfoque conceptual en el que vincula la exergía con los costos y las decisiones de diseño denominada *Exergy Economics Approach* (EEA). Ellos subrayan que la exergía permite evaluar mejor la calidad del recurso energético, y por lo tanto, puede usarse para estimar costos reales y realizar la toma de decisiones económicas en la industria. La incorporación de la exergía en los análisis termodinámicos permite obtener evaluaciones de eficiencia más precisas, sirve como herramienta para la contabilidad de costos, facilita el diseño óptimo de los sistemas, establece el costo por unidad de energía útil y aporta criterios relevantes para los estudios de factibilidad.

Estos autores señalan que la exergonomía debe orientarse a evaluar la eficiencia desde la perspectiva de la SLT, identificando los puntos donde ocurren las mayores pérdidas de exergía para intervenir y mejorar dichos tramos críticos. Asimismo, proponen equilibrar los costos de operación dentro de las organizaciones mediante el uso de equipos energéticamente eficientes, optimizar el ciclo de vida de los dispositivos a través de diseños más sostenibles y tomar decisiones basadas no solo en el desempeño operativo inmediato, sino también en la relación costo–beneficio a largo plazo asociada a la exergía.

2.5.2. Thermo-economic Functional Analysis (FEA)

Frangopoulos (1987) propone la Thermo-economic Functional Analysis (FEA) donde explora el comportamiento particular de los componentes de un sistema energético y cómo contribuyen en la producción de energía procurando minimizar su costo. El evaluar individualmente los componentes permite tomar en cuenta la función del mismo (evaporación, condensación, etc.) o bien el producto que genera (electricidad, trabajo, calor, etc.) y el impacto que tienen en el funcionamiento general del sistema. FEA, en el aspecto económico, considera aquellos costos que se encuentran asociados tanto con la adquisición, la operación y el mantenimiento de los componentes del sistema a evaluar.

Además, para representar dichas funciones, FEA las representa en un diagrama en donde se puede visualizar su distribución y la relación que tienen con el entorno del sistema. Otra ventaja de este diagrama es que ayuda a comprender si el objetivo del sistema se está cumpliendo. Debido a la complejidad del problema exergonómico, FEA emplea multiplicadores de Lagrange para la solución de optimizar el sistema. Aplica restricciones basadas en el diagrama antes mencionado como guía para la optimización.

2.5.3. Last In, First Out (LIFO)

Por otro lado, Tsatsaronis et al. (1993) destaca que existe una limitante en los análisis exergonómicos y es que no existe información en detalle del costo real para el suministro de exergía en cada corriente de un sistema. Para ello, propone un enfoque diferente para el cálculo de costos exergonómicos en donde se toma en cuenta el historial del suministro y la pérdida de exergía en la corriente que se esté evaluando. Cuando una corriente suministra exergía a otra, Tsatsaronis, sugiere el uso de un término de contabilidad de costos llamado LIFO (Last In, First Out o en español últimas entradas, primeras salidas).

La aplicación de este tipo de evaluación contable de inventarios permite dar un costo dependiendo de la exergía que entra a una corriente y luego se

transfiere a otra corriente. Esto reflejaría un valor actualizado en la exergía que se suministra en la corriente de un sistema. El LIFO elimina las suposiciones sobre algunos aspectos de operación del sistema además de mejorar el proceso de cálculo de costo y cómo se forma éste.

2.5.4. Análisis Funcional de Ingeniería (EFA)

Otro pionero de esta disciplina es Von Spakovsky y Evans (1993) quienes proponen el Análisis Funcional de Ingeniería (EFA). Esta metodología también sugiere el cálculo de costos y una optimización para sistemas energéticos. Su finalidad es tener claridad en el proceso contable aplicado a la exergía.

Para representar el EFA se propone un modelo matemático integral que utiliza no sólo los aspectos termodinámicos sino también términos económicos para comprender la “economía interna” del sistema que se esté estudiando. Una ventaja que tiene esta metodología es que, de acuerdo con el autor, puede adaptarse a diferentes factores tales como la contaminación, el uso de los recursos naturales en el proceso, la exergía utilizada por la manufactura, así como también si existe reciclaje en el componente.

El EFA sirve como herramienta para la toma de decisiones pues provee un análisis detallado del proceso y de su diseño, lo que facilita a los ingenieros identificar los puntos óptimos de operación considerando también el aspecto económico.

2.5.5. Specific Exergy Costing (SPECOC)

Tsatsaronis hace una colaboración con Lazzaretto y proponen Specific Exergy Costing (SPECOC). Esta permite calcular eficiencias de exergía además de los costos que se encuentran relacionados con los sistemas térmicos desde una perspectiva general y sistemática (Lazzaretto & Tsatsaronis, 2006). Se pueden destacar algunos aspectos de esta metodología:

- Define estrictamente los conceptos de “producto” y “combustible” de un equipo, con base en la producción y pérdida de exergía (**Figura 7**).
- Se calculan los costos de acuerdo con principios de contabilidad.
- Los costos de cada corriente se calculan por cada componente y por medio de ecuaciones auxiliares que se presentan en una matriz general de costos.
- Se calcula la eficiencia exergética tomando en cuenta los conceptos de “producto” y “combustible”.
- Le llaman costo exergético al costo monetario que se asocia con las corrientes de exergía.

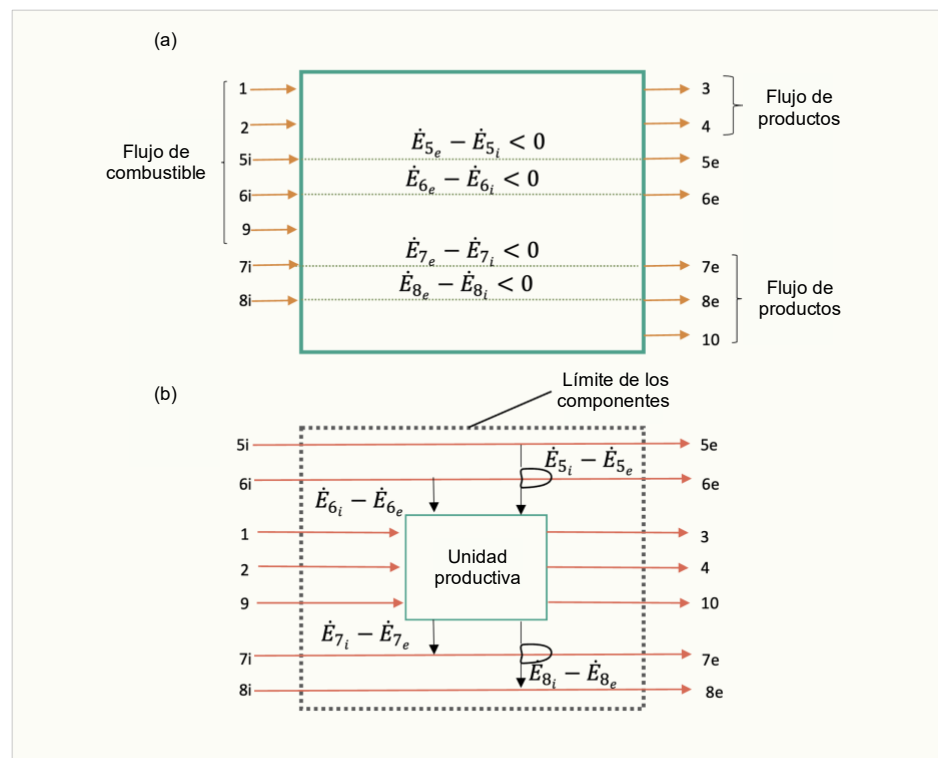


Figura 7. Sistema térmico. (a) Esquema de componente de un sistema térmico. (b) Estructura productiva (Lazzaretto & Tsatsaronis, 2006)

2.5.6. Theory of Exergetic Cost (TEC)

Otro referente es la Theory of Exergetic Cost (TEC) de Lozano y Valero (1993) dónde se hace uso, nuevamente, de la SLT para describir cómo es el proceso de la formación de costos, así como evaluar la eficiencia tecnológica de

los sistemas. Consideran aspectos importantes para la economía de la industria como el ahorro de energía, optimización de las operaciones y de los subsistemas, auditorías energéticas y el impacto del combustible en las malfunciones de los procesos.

Estos autores le dan valores al ahorro de energía también optimizan la operación basándose en la generación de entropía, diseño y costos de inversión. TEC es una metodología rigurosa para el cálculo de costos a través de una matriz de costos que representa las interacciones entre las corrientes del sistema. Además, proporciona herramientas para identificar, cuantificar y asignar los costos a las irreversibilidades y el impacto que tiene el consumo de recursos.

Si bien las metodologías previamente descritas representan las propuestas más citadas en la literatura, no existe aún un enfoque exergonómico plenamente generalizado. Esto se debe a que cada autor desarrolla su metodología desde una perspectiva particular, privilegiando ciertos criterios — termodinámicos, económicos o ambientales— según el objetivo de su análisis.

Además, la mayoría de estos enfoques no incorpora herramientas contemporáneas de evaluación de costos, como el método ABC (Activity-Based Costing), lo que limita su aplicabilidad en contextos industriales complejos. Esta ausencia motivó la inquietud central de la presente tesis, en la cual se propone integrar el enfoque ABC dentro del análisis exergonómico. A continuación, se describe el fundamento de dicho método.

2.6. Sistema ABC

Uno de los primeros conceptos que se deben definir es el de costo. En materia contable, el costo es el valor monetario que adquieren los recursos que son consumidos al momento de producir un producto o un servicio. En otras palabras, representa la cantidad de dinero necesaria para obtener bienes o servicios con la finalidad de realizar alguna operación (Warren et al., 2020). Estos se pueden clasificar en costos directos e indirectos, fijos, variables, de

producción entre otros (**Figura 8**). La comprensión de cómo se conforman los costos es esencial para determinar el impacto que tienen en la fijación de precios, los presupuestos planeados y la rentabilidad de la empresa.

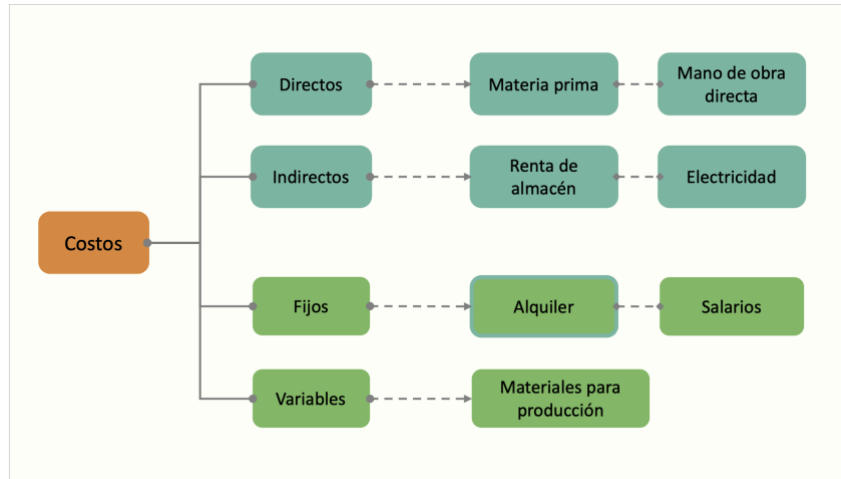


Figura 8. Clasificación de costos (Elaboración propia).

Como se ha señalado, la exergonomía se centra en la estimación del costo exergético de los sistemas; sin embargo, para llevar este cálculo al ámbito económico es posible emplear distintos modelos de contabilidad. Uno de ellos es el Costeo Basado en Actividades (ABC, por sus siglas en inglés), el cual asigna los costos a partir de la identificación de las actividades donde estos se generan, estableciendo así su contribución a los productos o servicios finales.

El uso de este tipo de modelos permite comprender dónde, por qué y cómo se generan y se fijan los costos, asignándolos con mayor precisión a quienes los originan. Estas características hacen que el sistema ABC se distinga de los métodos tradicionales de contabilidad de costos, los cuales suelen realizar asignaciones menos detalladas y, por tanto, menos representativas de la realidad operativa (Warren et al., 2020).

Para recolectar la información del desempeño financiero de las operaciones de una empresa, el sistema ABC sigue los pasos que se representan en la **Figura 9** y se describen a continuación (Jong & Kleiner, 1997):

1. Decisión preliminar: Aquí se determina si se puede analizar de manera integral o bien de manera independiente. También se debe definir el responsable de hacer estos análisis, cuál es el nivel de precisión para los costos del sistema y si el diseño inicial del sistema ABC puede ser complejo o simple.
2. Plan de implementación: Se desarrolla un plan que establezca las etapas del proyecto para poder asegurar que la implementación del diseño del ABC sea exitosa.
3. Seminario ABC: En este paso, es necesario capacitar a la gerencia o los ejecutivos de las empresas en los conceptos del sistema ABC y cuáles son los beneficios que conlleva adoptarlo.
4. Seminario de diseño: La capacitación se realiza con el grupo de colaboradores que implementarán el diseño de ABC. Es importante que este grupo de personas entiendan perfectamente los conceptos del sistema ABC pues de ellos depende que se tenga información precisa sobre los costos.
5. Diseño y recolección de datos: En esta etapa se examinan los materiales y la mano de obra directa, los cuales se analizan para identificar en qué actividades fueron utilizados. Esta acción permite determinar qué origina cada actividad y cómo se vincula con los costos asociados a cada producto. Con ello, es posible calcular los costos de productos y servicios con base en las actividades que realmente los generan.

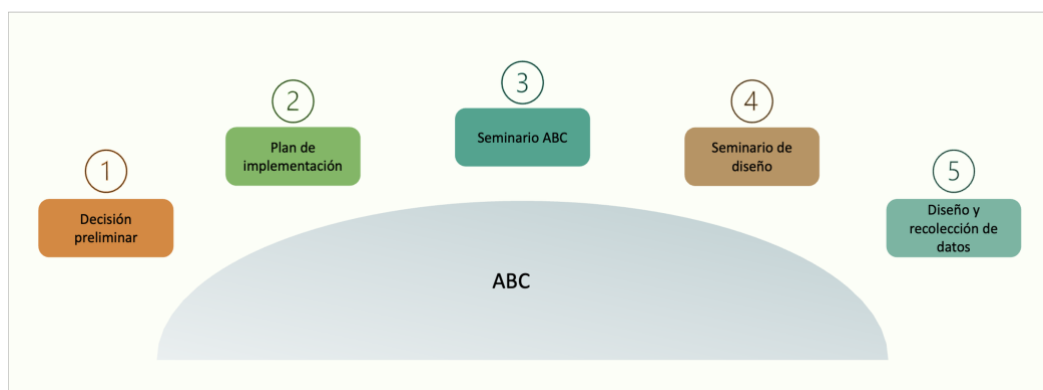


Figura 9. Pasos de sistema ABC (Kleiner, 1997).

Es importante señalar que los sistemas energéticos pueden considerarse como pequeñas industrias de producción. Bajo esta perspectiva, es posible establecer una analogía entre su funcionamiento y la aplicación del sistema ABC en la industria manufacturera. La adopción del sistema ABC permite obtener costos más precisos y relevantes en comparación con los métodos tradicionales de costeo, ya que refleja con mayor fidelidad las actividades que realmente originan los costos.

En la actualidad, los procesos de producción en la industria manufacturera se han vuelto cada vez más complejos debido al alto nivel tecnológico que incorporan, lo que dificulta la asignación adecuada de los costos directos e indirectos. Ante esta complejidad, el sistema ABC resulta especialmente útil, ya que proporciona información más precisa para la toma de decisiones, permite identificar procesos ineficientes y facilita el establecimiento de estrategias de gestión de costos.

Otra ventaja del sistema ABC es que permite identificar aquellas actividades dentro del proceso productivo que no agregan valor a la empresa. Además, constituye una herramienta clave para determinar la rentabilidad individual de cada producto, ya que los métodos tradicionales de costeo pueden sobrestimar o subestimar los costos asignados, generando evaluaciones poco precisas.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

Todo sistema organizacional, ya sea una institución, organización, empresa o incluso un proceso, puede representarse mediante un modelo de negocio. De acuerdo con Osterwalder y Pigneur (2013), un modelo de negocio “describe las bases sobre las que una empresa crea, proporciona y capta valor”. Esta concepción implica que un modelo de negocio se fundamenta en tres funciones principales. La primera es la creación de valor, que se entiende como la capacidad de transformar recursos en productos, servicios o soluciones. La segunda es la provisión de valor, que se refiere a los mecanismos mediante los cuales ese producto o servicio llega a quienes lo requieren. Finalmente, la tercera es la captura de valor, que corresponde a la forma en que el sistema obtiene beneficios a cambio de su actividad, garantizando así su sostenibilidad.

A partir de esta concepción, puede considerarse que los procesos energéticos también se pueden analizar como modelos de negocio. En la medida en que crean valor al transformar los recursos energéticos disponibles, proporcionan valor al poner esa energía a disposición de distintos usos y captan valor al asegurar beneficios asociados con la eficiencia, la reducción de impactos ambientales y la optimización en el uso de los recursos. Bajo esta perspectiva, los procesos energéticos dejan de entenderse únicamente como fenómenos físicos o termodinámicos y se conciben como sistemas integrales de generación de valor.

Bajo esta perspectiva, cada proceso energético no solo debe evaluarse en términos de eficiencia técnica, sino también en función de su capacidad para optimizar recursos, generar valor y minimizar impactos ambientales. En muchos casos, la falta de rentabilidad o el bajo desempeño de un proceso se deben a problemas operativos, económicos o ambientales que impiden que las actividades se desarrollen de manera óptima. Por ello, resulta fundamental identificar las causas que limitan la eficiencia o el valor generado —ya sea por

ineficiencias técnicas, costos mal asignados, pérdidas energéticas o decisiones operativas inadecuadas— y clasificarlas para comprender su origen. Sin embargo, el sector energético enfrenta además una serie de obstáculos estructurales que deben superarse para alcanzar estos compromisos y garantizar procesos más sostenibles y rentables (**Figura 10**).



Figura 10. Diagrama de Causa y Efecto en el sector energético (Elaboración propia).

Esta visión integral constituye la base de la metodología exergonómica, la cual propone evaluar los procesos a partir de la creación y captación de valor, siguiendo la lógica de los modelos de negocio.

Por ello, se propone una nueva metodología exergonómica llamada Costeo Exergonómico-Ambiental Basado en Actividades (o en sus siglas en inglés ABEEC). El ABEEC adapta y personaliza la estructura de un sistema de costeo de acuerdo con las particularidades del sistema a analizar tomando en cuenta la exergía y la relación que tiene ésta con los costos.

ABEEC se compone de 4 fases principales, los cuales se muestran en la **Figura 11** y son:

1. Análisis por sistema ABC. En esta fase se identifican y clasifican las actividades exergéticas del proceso, es decir, aquellas relacionadas con la transformación, el flujo o el uso de la energía. Además de gestionar los insumos energéticos asociados a dichas actividades, se evalúan los

objetos de costo considerando tanto su eficiencia exergética como el costo que generan, lo que permite establecer una relación más precisa entre desempeño energético y costo operativo.

2. Análisis exergonómico. Se analiza la viabilidad tecnológica del sistema. Es decir, cómo afecta la producción y pérdida de exergía, así como las irreversibilidades y la eficiencia exergética dentro del proceso y dentro de la contabilidad del mismo.
3. Dimensión ambiental. Se incorpora la evaluación ambiental mediante el cálculo del denominado *factor exergético*, el cual funciona como una herramienta para analizar y gestionar el impacto ambiental de los sistemas energéticos. Este indicador permite relacionar la destrucción de exergía con las cargas ambientales asociadas, integrando así la dimensión ecológica dentro del análisis exergonómico.
4. Optimización y toma de decisiones. En esta fase, los resultados obtenidos en las etapas anteriores se analizan con el fin de establecer acciones orientadas a la optimización de los equipos, la modificación de procesos para reducir pérdidas, y la implementación de los ajustes necesarios, entre otros objetivos.

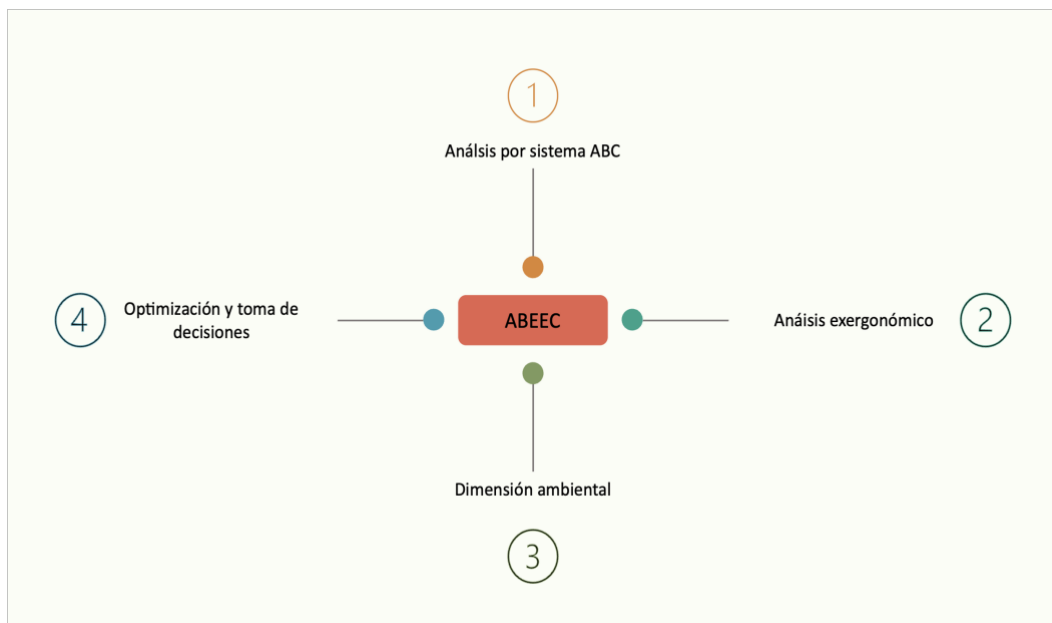


Figura 11. Estructura general de ABEEC (Elaboración propia).

3.1. Análisis por sistema ABC

Uno de los elementos claves dentro del sistema ABC consiste en la identificación de los recursos exergéticos empleados en las actividades específicas del sistema energético bajo evaluación. Esta etapa resulta necesaria para establecer la dinámica de funcionamiento del sistema y así poner en práctica estrategias para la optimización energética.

En primer lugar, se deben determinar los recursos exergéticos que se encuentran relacionados con las funciones que desempeña cada componente del sistema. Estos recursos pueden ser la electricidad, gases, carbón mineral, entre otros. Tomando como ejemplo la electricidad, puede ser utilizada en actividades como el movimiento de fluidos, el control de temperatura, la operación de las bombas o de cualquier dispositivo electrónico de control, véase ejemplo en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Ejemplo de identificación de actividades y recursos exergéticos (Elaboración propia).

Actividad	Recurso	Costo
Circulación de fluidos	Electricidad	\$200.00
Control de temperature	Electricidad	\$100.00

Como segundo punto de esta etapa, se debe representar gráficamente la secuencia de actividades y las interrelaciones entre cada uno de los componentes del sistema a través de un diagrama de flujo productivo. Este diagrama abarca los componentes principales, auxiliares y las corrientes presentes en el sistema. Dicha representación proporciona una visión integral de la operación del sistema, facilitando la comprensión de su funcionamiento, tal cómo se puede observar en la **Error! Reference source not found.** **Figura 12**.

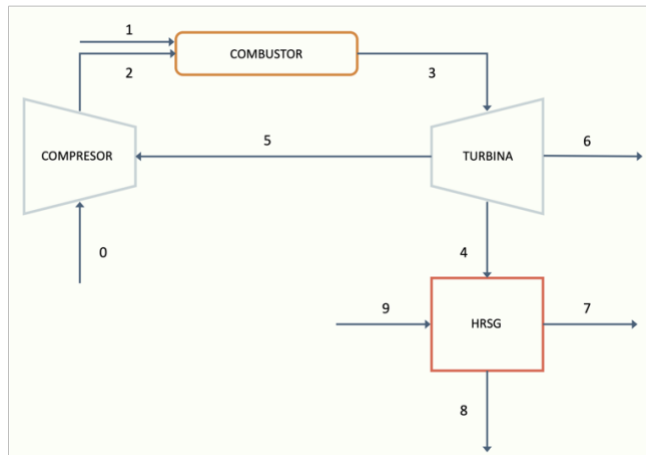


Figura 12. Ejemplo de representación visual del funcionamiento de un sistema (Elaboración propia).

Una vez identificado todos los recursos exergéticos y la secuencia de proceso del sistema, se empieza con la estructura de los costos de cada uno de los componentes que integran el sistema. Cada componente tendrá un Costo Total (Z_t), que se encuentra representado en la **Ecuación (4)**, integrándose por todos los recursos necesarios para llevar a cabo su operación. Es decir, la inversión inicial por la fabricación del componente (Z_i), los costos de operación (Z_{op}) y los costos de mantenimiento (Z_{mtto}).

$$Z_{tj} = Z_{ij} + Z_{opj} + Z_{mttoj} \quad (4)$$

Dado que esta metodología se presenta de manera general, se reconoce la posibilidad de variaciones en los datos dependiendo de la región o país donde esté ubicado el sistema. Por ello, **ABEEC** toma en cuenta algunos parámetros financieros que ayudarán al usuario a contar con datos de mayor exactitud.

En la **Ecuación (5)** se propone un modelo predictivo, basado en el análisis de las tendencias históricas de los precios de la energía eléctrica utilizando datos pasados como referencia para estimar su comportamiento futuro, para el cálculo de la energía eléctrica. Dónde " λ_{ee} " es el precio de la energía eléctrica expresada

en USD\$ y “ x ” es la cantidad de energía eléctrica utilizada por alguno de los componentes del sistema.

$$\lambda_{ee} = 0.0012x_j + 0.5003 \quad (5)$$

Para llevar a cabo la actualización de costos, en caso de que el usuario lo crea necesario, se hará uso de modelo de Valor Futuro de Precio (F) de insumos (Díaz y Aguilera, 2000) representado en la **Ecuación (6)**. Dónde un valor determinado (P) se ajusta a una tasa de inflación (i) dentro de periodo determinado (n). Éste modelo matemático financiero permitirá que la toma de decisiones sea más precisa garantizando una gestión de recursos con mayor eficiencia.

$$F = P(1 + i)^{-n} \quad (6)$$

Debido a que los equipos sufren cambios por el mantenimiento o bien por ajustes en la configuración, es importante agregar el cálculo de la depreciación de maquinaria y así tener en consideración un dato que nos indique la pérdida de valor (D) durante un lapso de tiempo (Ortega-Roldán, 2021). La **Ecuación (7)** representa su cálculo dónde el costo original de la maquinaria (C) es distribuido a lo largo de la vida útil del sistema (Δt) a una tasa de depreciación anual (d).

$$D = \frac{C_m - Sa}{\Delta t} \quad (7)$$

3.2. Análisis exergonómico

Como bien se ha comentado anteriormente, los análisis exergonómicos implican también una evaluación tecnológica de los sistemas. Por lo tanto, es necesario el cálculo de la exergía durante el proceso energético.

De acuerdo con Tsatsaronis (2007), la exergía es una propiedad de la termodinámica (SLT) que representa el trabajo útil máximo que puede tener un

sistema a medida que la temperatura de operación alcanza un equilibrio con la temperatura del entorno. El análisis exergético también permite determinar las irreversibilidades de los componentes principales, así como la eficiencia en el proceso (Velasco et al., 2011).

Para el cálculo de la exergía total (Ex) la **Ecuación (8)** de corrientes en un estado específico y con referencia a temperatura ambiente, se representa de la siguiente forma:

$$\sum_{out} \dot{m}_o \psi_o - \sum_{int} \dot{m}_i \psi_i = \dot{\phi}_Q + \dot{W}_{real} - \dot{I}_{VC} \quad (8)$$

Donde ψ representa la exergía de una corriente por unidad de masa y se calcula de acuerdo con la **Ecuación (9)**, donde h_0 y s_0 son la entalpía y entropía evaluada a una temperatura ambiente (T_0).

$$\psi = \dot{m} (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (9)$$

En el caso de la destrucción de exergía causada por las irreversibilidades (\dot{I}) de los procesos se representa en la **Ecuación (10)**:

$$\dot{I}_{VC} = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \cdot Q_j + \left(\sum_j \dot{m}_i Ex_i\right)_{in} - \left(\sum_j \dot{m}_i Ex_i\right)_{out} - \dot{W} \quad (10)$$

Dónde el primer término representa el cálculo de la exergía de calor $\sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \cdot Q_j$ dentro del proceso termodinámico.

Otro indicador importante para la correcta evaluación de exergonómico, es el cálculo de la eficiencia exergética (ε) del sistema. Este parámetro permite determinar la efectividad del funcionamiento tecnológico mediante la

comparación entre la exergía producida (Ex_p) y la exergía destruida (Ex_d) durante el proceso. En cálculo de la eficiencia se presenta en la **Ecuación (11)**.

$$\varepsilon = \frac{Ex_d}{Ex_p} \quad (11)$$

Para el caso particular del costo unitario exergonómico, este se determina por unidad de exergía de calor, como se muestra en la **Ecuación (12)**, mientras que las irreversibilidades se obtienen mediante la **Ecuación (13)**.

$$B_{Q_j} = \frac{\dot{Q}_j}{Z_{t_j}} \quad (12)$$

$$B_{I_j} = \frac{I_j}{\dot{Z}_{t_j}} \quad (13)$$

3.3. Dimensión ambiental

Con el fin de extender la presente metodología al análisis ambiental, se propone la evaluación ambiental a través del cálculo del Factor exergético (F_{ex}), como indicador clave para la evaluación del impacto térmico de los sistemas energéticos sobre el entorno. Este factor permite relacionar directamente la condición termodinámica del componente (específicamente, su temperatura de operación) con la temperatura de referencia ambiental, proporcionando así una métrica sencilla pero poderosa para valorar el grado en que un sistema puede generar efectos térmicos adversos en su entorno inmediato.

El F_{ex} se define como la razón entre la temperatura ambiente (T_0) y la temperatura de operación del componente (T_j). Se representa con la **Ecuación (14)**:

$$F_{ex_j} = 1 - \frac{T_0}{T_j} \quad (14)$$

Donde:

T_0 : Temperatura ambiente de referencia (en K)

T_j : Temperatura de operación del componente o corriente de energía (en K)

Este factor toma valores en el intervalo de 0 a 1. Cuando F_{ex_j} se acerca a 1, significa que la temperatura de operación del componente es mucho mayor que la del ambiente, lo que implica una mayor propensión a liberar calor hacia el entorno. Por lo tanto, un valor de F_{ex_j} cercano a 1 indica un mayor impacto ambiental por transferencia de calor, lo cual puede generar efectos indeseables como el calentamiento del entorno, aumento del consumo energético para refrigeración, o daños térmicos en ecosistemas cercanos.

En contraste, un valor de F_{ex_j} cercano a 0 implica que el componente opera en condiciones térmicas similares a las del ambiente, por lo que su impacto ambiental por gradiente térmico es mínimo. Esta característica convierte a F_{ex_j} en un indicador ambiental complementario al análisis exergético clásico, al considerar explícitamente la interacción energética entre el sistema y su entorno.

Además, el F_{ex_j} permite evaluar la calidad ambiental de los procesos térmicos más allá del rendimiento interno. Por ejemplo, dos sistemas con igual eficiencia exergética pueden tener impactos ambientales muy distintos sobretodo si uno opera a temperaturas mucho más elevadas. En este sentido, el análisis de F_{ex} aporta una dimensión adicional de sostenibilidad, alineada con los principios de la termodinámica ecológica y la gestión responsable de la energía.

3.4. Optimización y toma de decisiones

La fase de optimización y toma de decisiones constituye el eje integrador del modelo exergonómico generalizado. Durante esta etapa se desarrolla un enfoque matemático de evaluación múltiple que permite, mediante el uso de variables técnicas, económicas y ambientales, encontrar condiciones óptimas de operación o rediseño del sistema energético.

La optimización se basa en una función objetivo **Ecuación (15)** compuesta, que pondera tres dimensiones clave:

$$\min F = \omega_1 Z_{total} + \omega_2 I + \omega_3 (1 - \varepsilon) \quad (15)$$

Donde Z_{total} representa el costo agregado de los componentes, I la suma de las irreversibilidades térmicas, y ε la eficiencia exergética global del sistema. Los coeficientes ω_1 , ω_2 , ω_3 corresponden a los pesos asignados a cada uno de estos criterios y deben cumplir con la siguiente restricción:

$$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1, \text{ con } 0 \leq \omega_i \leq 1$$

También serán consideradas las siguientes restricciones adicionales:

$$Z_{total} = \sum_j Z_j$$

$$I = \sum_j I_j$$

$$\varepsilon = \frac{\sum_j Ex_j}{\sum_j Q_j}$$

$$Fex_j = 1 - \frac{T_0}{T_j} \leq 1$$

$$T_j > T_0$$

$$\varepsilon \geq \varepsilon_{mínima}$$

$$Z_j, I_j, Q_j > 0 \forall_j$$

Las variables de decisión incluyen los valores de temperatura de operación de los componentes T_j , así como los coeficientes ω_1 , ω_2 , ω_3 , los cuales permiten explorar distintos escenarios de prioridad entre criterios.

El análisis de sensibilidad complementa la optimización al evaluar cómo responde la solución óptima ante variaciones en los pesos ω_i . Esta herramienta permite identificar zonas de mayor estabilidad o sensibilidad del sistema frente a cambios en el enfoque (por ejemplo, una priorización ambiental frente a una económica), y resulta clave para la toma de decisiones cuando los objetivos en conflicto requieren un balance.

CAPÍTULO IV

A continuación, se presentan los resultados obtenidos al implementar la metodología propuesta en un sistema AHT (Absorption Heat Transformer).

4. RESULTADOS

Una vez aplicado el modelo de ABEEC al sistema AHT, se obtuvieron resultados representativos que permiten visualizar el comportamiento energético, económico y ambiental del sistema bajo diferentes condiciones de operación. A continuación, se presentan los hallazgos organizados conforme a las fases de la metodología ABEEC.

4.1. Sistema de prueba

El Transformador de Calor por Absorción (por sus siglas en inglés AHT) es un tipo de bomba de calor, que tiene la capacidad de aprovechar el calor de diseño de un proceso industrial o de una fuente de baja calidad y llevarlo a una temperatura mayor para poder utilizarlo en un uso específico (Pospisil et al., 2009). Los componentes principales de un AHT son cuatro intercambiadores de calor de diferentes tipos y formas, que realizan funciones específicas: evaporar, condensar, generar y absorber.

El AHT estudiado en este artículo está construido con dos componentes dúplex y un economizador: Evaporador-Absorbedor ($EV - AB$) y Generador-Condensador ($GE - CO$), el primero trabaja a alta presión y el otro a baja presión.

El sistema AHT opera con una solución binaria LiBr-H₂O, donde el agua funciona como refrigerante y el bromuro de litio como absorbente. En este sistema, la solución concentrada de LiBr genera una reacción exotérmica al absorber el vapor de agua en el absorbedor. El calor liberado en esta etapa (Q_{AB})

se aprovecha como fuente térmica útil del proceso, permitiendo destilar el agua impura que ingresa al equipo.

El ciclo inicia en el Generador (GE), donde se suministra calor residual de bajo nivel térmico (Q_{GE}) para vaporizar el refrigerante contenido en la solución débil (de baja concentración de LiBr). El vapor producido se dirige al condensador (CO), donde se condensa y libera una cantidad de calor (Q_{CO}) a una temperatura cercana a la del ambiente.

Posteriormente, el refrigerante líquido es bombeado hacia el **evaporador (EV)**, donde vuelve a evaporarse mediante la adición de calor residual a baja temperatura (Q_{EV}). El vapor generado en el EV pasa al **absorbente (AB)**, donde es absorbido por la solución concentrada proveniente del GE, liberando nuevamente calor a una temperatura más alta (Q_{AB}).

Finalmente, la solución diluida resultante se envía de regreso al GE, pasando antes por el **intercambiador de solución (EC)** para precalentarse y cerrar el ciclo (Smith, 1990).

Para el análisis de esta investigación se consideró una prueba experimental del AHT instalado, la cual se realizó en condiciones de operación estable. Los parámetros de operación que el AHT permite medir según su limitada instrumentación son: flujo másico (\dot{m}), presión (P), temperatura (T) y concentración (X), los cuales se muestran en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Parámetros de operación del Transformador de Calor de Absorción (Elaboración propia).

<i>Línea</i>	\dot{m} (kg/s)	P (kPa)	T (°C)	X (% wt)
1	0.000863-0.00145	6.46-8.22	233.00-399.00	0
2	0.000863-0.00145	6.46-8.22	29.42-33.26	0
3	0.0008-0.0009	24.92-34.27	33.53-38.41	0
4	0.00089-0.007	24.92-34.27	53.55-72.20	0
5	0.0054-0.017	81.9	83.23-86.20	49.69-52.61
6	0.0054-0.017	81.9	75.43-78.54	49.69-52.61
7	0.0054-0.017	81.9	74.31-77.05	49.69-52.61
8	0.004-0.016	81.9	70.21-76.52	52.22-55.54

9	0.004-0.016	81.9	78.59-82.73	52.22-55.54
10	0.004-0.016	81.9	75.42-79.88	52.22-55.54
A	0.12-0.13	81.9	83.00-88.55	0
B	0.12-0.13	81.9	79.97-85.25	0
C	0.144-0.146	81.9	30.52-35.76	0
D	0.144-0.146	81.9	34.74-40.56	0
E	0.12-0.14	81.9	30.52-35.76	0
F	0.12-0.14	81.9	72.02-79.89	0
G	0.03-0.05	81.9	93.92-96.95	0
H	0.03-0.05	81.9	96.95-99.61	0

La variación observada entre los distintos parámetros se debe principalmente a que en cada una de las pruebas experimentales se establecieron condiciones iniciales de operación diferentes.

4.2. Análisis por sistema ABC

Una vez aplicado el ABEEC al AHT, se obtienen los siguientes resultados para una de las pruebas especificadas anteriormente. En la **Figura 13**, se muestran los flujos productivos del sistema, así como los dispositivos que componen. En este diagrama se identifican de forma clara los componentes principales del sistema, así como las corrientes energéticas entre ellos. Esta representación permite comprender de forma integral la interacción de los dispositivos en términos de aporte energético, exergía útil generada y pérdidas térmicas.

Durante esta etapa, se identificaron y catalogaron las actividades exergéticas clave relacionadas con la transformación, el flujo y el uso de energía dentro del sistema. También se determinaron los objetos de costo y se asociaron con los recursos energéticos empleados, permitiendo estimar el costo exergético de cada componente y su eficiencia relativa. La identificación de los componentes con mayores costos y menores eficiencias permitió priorizar futuras intervenciones tecnológicas.

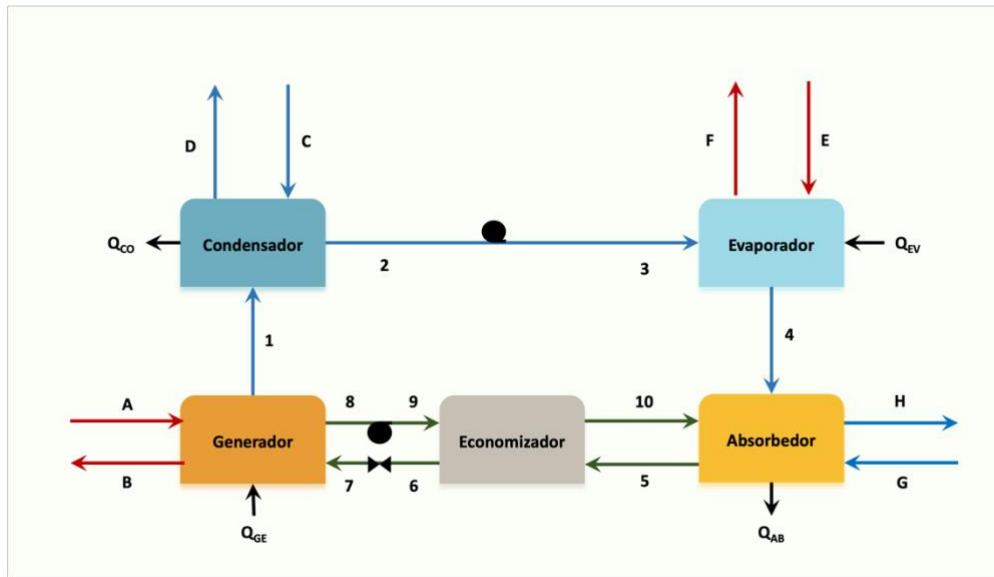


Figura 13. Estructura productiva del AHT (Elaboración propia).

En primer lugar, se calcularon los precios de los materiales de construcción del sistema AHT, debido a que no se contaba con un desglose detallado de los costos históricos correspondientes al momento de su instalación. Para homogenizar las cifras, todos los valores monetarios fueron ajustados a divisas en dólares estadounidenses, considerando su uso como moneda de referencia en el comercio internacional. Cabe señalar que, si bien esta referencia sigue siendo válida, su estabilidad podría verse afectada por circunstancias geopolíticas.

Asimismo, se ajustaron los precios de la energía eléctrica con base en las tarifas de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) dentro del escenario considerado. Finalmente, se incorporó una tasa de ajuste derivada de la inflación pronosticada para el periodo 2015-2030, lo que permitió proyectar con mayor realismo el comportamiento económico de los costos en el tiempo. Estos ajustes ayudaron a construir un escenario comercial más cercano a la actualidad y subrayan la relevancia de considerar el contexto económico global al realizar análisis exergonómicos. En especial, se reafirma que el costo exergonómico debe vincularse estrechamente con factores y eventos comerciales externos.

Como se observa en la **Figura 14**, el costo por dispositivo a lo largo de los 15 años considerados en el escenario propuesto muestra una tendencia creciente, atribuida al incremento proyectado en los precios de los materiales mediante el cálculo del valor futuro. Sin embargo, destaca un incremento atípico en el año 2022, particularmente en las bombas, debido a un gasto extraordinario por reposición. Este evento tuvo un impacto directo en el costo total de ese año, lo que pone de manifiesto la importancia de incorporar eventos correctivos dentro de la planeación financiera del sistema.

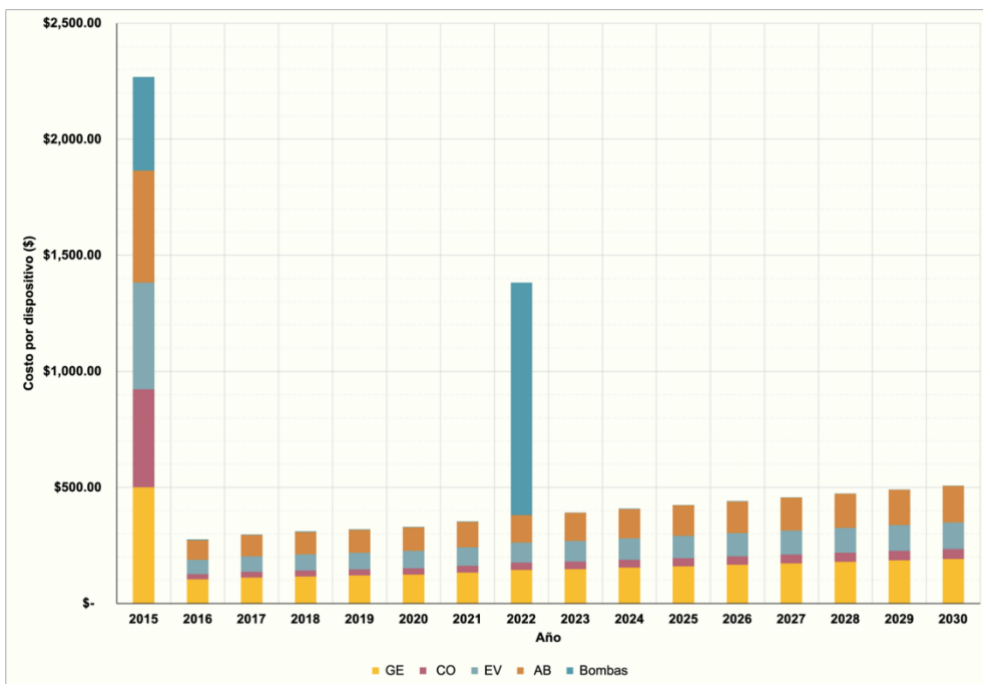


Figura 14. Costo por dispositivo del AHT (Elaboración propia).

Las gráficas utilizadas para representar la evolución de los precios de los materiales de construcción, la conversión de divisas y el comportamiento de la energía eléctrica se encuentran disponibles en el **Anexo 1** de esta tesis, como referencia complementaria.

4.3. Análisis exergonómico

Como se mencionó en el apartado anterior, se consideró el escenario comprendido entre los años 2015 y 2030 con el objetivo de evaluar la vida útil del sistema a lo largo de un periodo de 20 años. Este intervalo no sólo permite proyectar el desempeño del sistema en el tiempo, sino que también ofrece una base para analizar su grado de adaptación a los compromisos establecidos en la Agenda 2030.

Para los fines del análisis exergético, se establecieron tres escenarios térmicos de operación basados en datos de temperatura del estado de Morelos proporcionados por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) (2023) y resumidos en el mapa de calor mostrado en la **Figura 15**. Las temperaturas representativas utilizadas fueron las siguientes:

- Temperatura máxima: 25.57 °C
- Temperatura media anual: 22.37 °C
- Temperatura mínima: 19.5 °C

Año/Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Annual
2015	19.90	20.70	22.60	25.70	24.30	23.10	22.70	23.00	22.80	22.80	22.60	20.70	22.60
2016	18.20	20.70	22.50	25.10	25.90	23.20	22.80	22.40	22.00	22.20	20.60	21.10	22.20
2017	19.70	21.50	23.40	25.00	25.40	23.10	22.50	22.60	22.20	21.60	20.30	18.80	22.20
2018	18.40	22.10	24.60	25.00	24.00	23.20	23.10	21.90	21.80	21.80	20.60	19.10	22.10
2019	19.20	21.90	24.40	24.60	25.40	23.60	22.40	22.60	22.40	21.70	21.20	19.50	22.40
2020	19.40	21.40	24.70	26.00	25.30	24.80	22.90	22.60	22.00	21.00	20.90	20.00	22.60
2021	19.70	20.70	23.70	24.80	24.50	22.60	22.40	22.40	22.20	22.30	20.00	20.10	22.10
2022	19.70	20.90	23.00	25.00	26.30	23.80	23.50	22.80	22.10	22.40	22.00	19.50	22.60
2023	19.70	21.50	23.50	24.95	25.57	23.82	23.01	22.50	21.98	21.75	20.77	19.35	22.37
2024	19.71	21.39	24.08	24.90	25.67	23.91	23.06	22.49	21.93	21.70	20.71	19.23	22.40
2025	19.79	21.42	24.18	24.86	25.76	24.00	23.10	22.48	21.89	21.65	20.65	19.12	22.41
2026	19.87	21.44	24.28	24.81	25.86	24.09	23.15	22.48	21.84	21.60	20.60	19.01	22.42
2027	19.95	21.47	24.37	24.77	25.96	24.17	23.20	22.47	21.79	21.55	20.54	18.90	22.43
2028	20.03	21.49	24.47	24.72	26.05	24.26	23.25	22.46	21.75	21.50	20.48	18.79	22.44
2029	20.11	21.52	24.57	24.68	26.15	24.35	23.30	22.45	21.70	21.45	20.43	18.68	22.45
2030	20.18	21.54	24.66	24.63	26.25	24.44	23.35	22.44	21.65	21.40	20.37	18.56	22.46

Figura 15. Mapa de calor de temperatura ambiente en el estado de Morelos (CONAGUA, 2023).

En la **Figura 16**, se muestra el comportamiento exergético de los componentes cuando el sistema opera bajo condiciones de temperatura máxima.

En este escenario, el componente CO alcanza la mayor eficiencia exergética, superando incluso el 113.8%. Este valor se debe a que el CO actúa como un componente consumidor o sumidero de exergía, es decir, un elemento que absorbe o utiliza exergía generada por otros componentes del sistema. En particular, este comportamiento se relaciona con la corriente 2, donde el vapor sobrecalentado entregado al CO es aprovechado eficazmente para alimentar las líneas C y D del Chiller, cumpliendo así una función clave dentro de la cadena de transformación térmica.

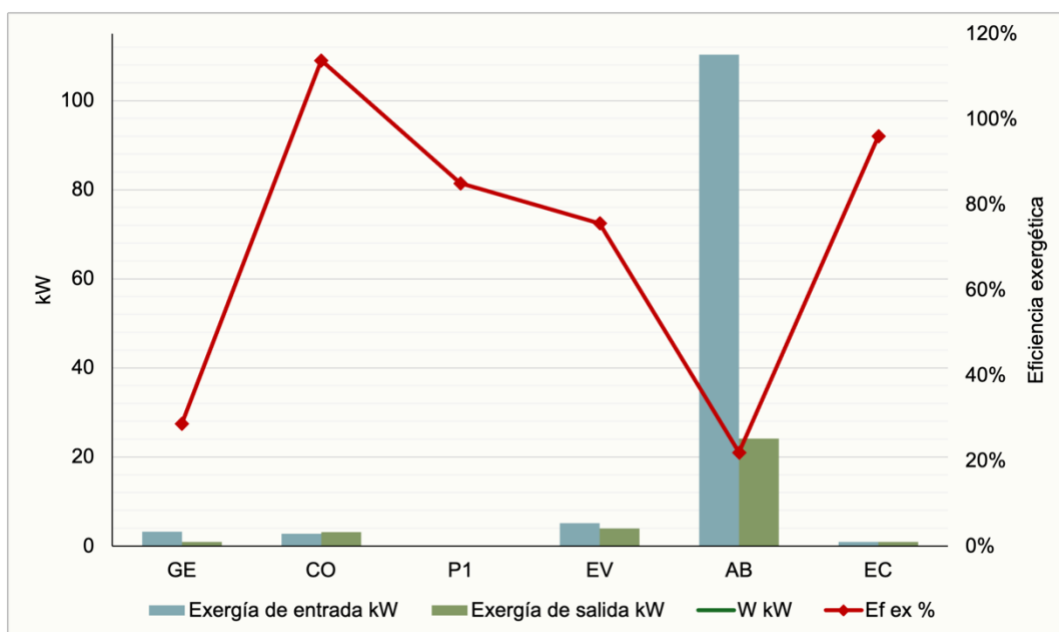


Figura 16. Comportamiento exergético de componentes principales del AHT a temperatura máxima (Elaboración propia).

Por otro lado, el componente EC tiene la función de gestionar la exergía para favorecer la recirculación de la solución hacia el GE, actuando como puente térmico dentro del sistema. A pesar de su función de soporte, mantiene una eficiencia razonable bajo el mismo escenario térmico.

En contraste, el AB actúa como un componente fuente de exergía, es decir, es responsable de aportar trabajo térmico útil al sistema. En este caso, recibe vapor proveniente del EV a través de la línea 4, donde ocurre la absorción de la mezcla. Sin embargo, el AB es también el componente que presenta la

menor eficiencia exergética y, por tanto, la mayor cantidad de irreversibilidades en el proceso. Este comportamiento indica que el absorbedor es un punto crítico del sistema desde el punto de vista termodinámico.

Tanto en las **Figura 17** como **Figura 18**, correspondientes a los escenarios de temperatura media y mínima respectivamente, se observa un comportamiento exergético similar entre los componentes. Sin embargo, en el caso del escenario de temperatura mínima, las eficiencias exergéticas de todos los componentes presentan una ligera disminución. Esto confirma que la temperatura ambiente es una variable clave que debe considerarse al momento de planear la instalación y operación de este tipo de sistemas térmicos.

Adicionalmente, en la **Figura 19** se representa el flujo y la degradación de exergía mediante un diagrama de Sankey, el cual ilustra de forma visual el fenómeno descrito para los componentes del AHT. Este diagrama permite apreciar claramente las pérdidas exergéticas a lo largo del sistema, así como la distribución del trabajo útil en cada etapa del proceso.

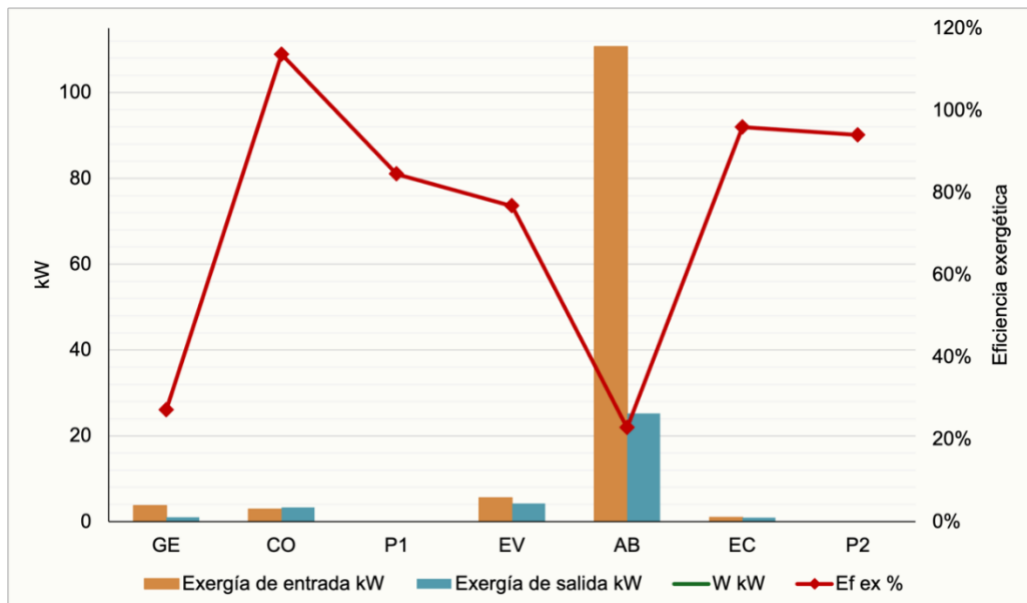


Figura 17. Comportamiento exergético de componentes principales del AHT a temperatura media (Elaboración propia).

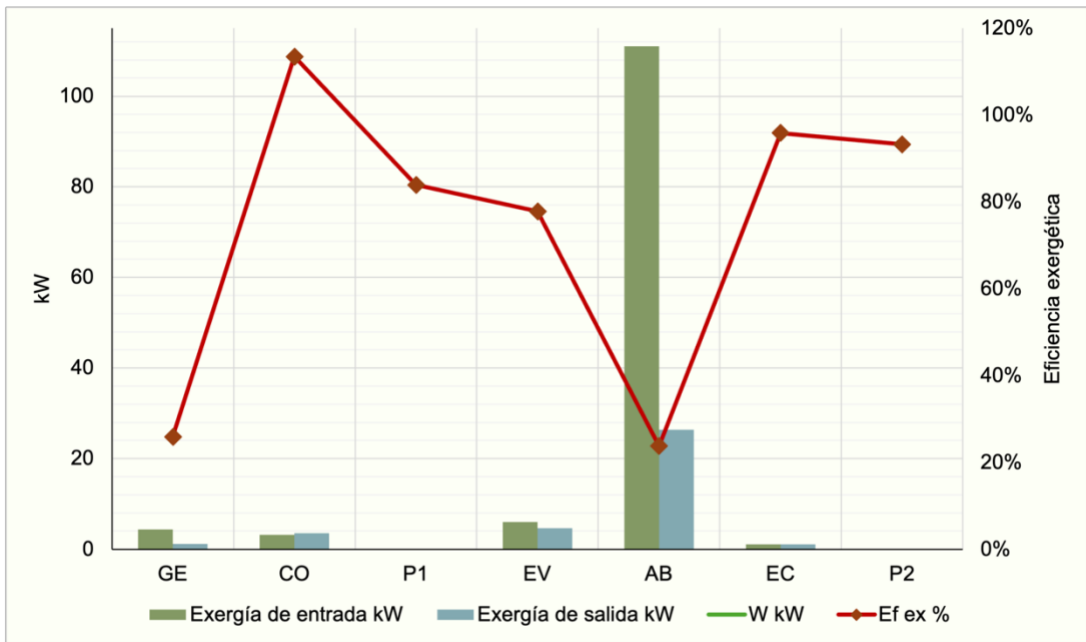


Figura 18. Comportamiento exergético de componentes principales del AHT a temperatura mínima (Elaboración propia).

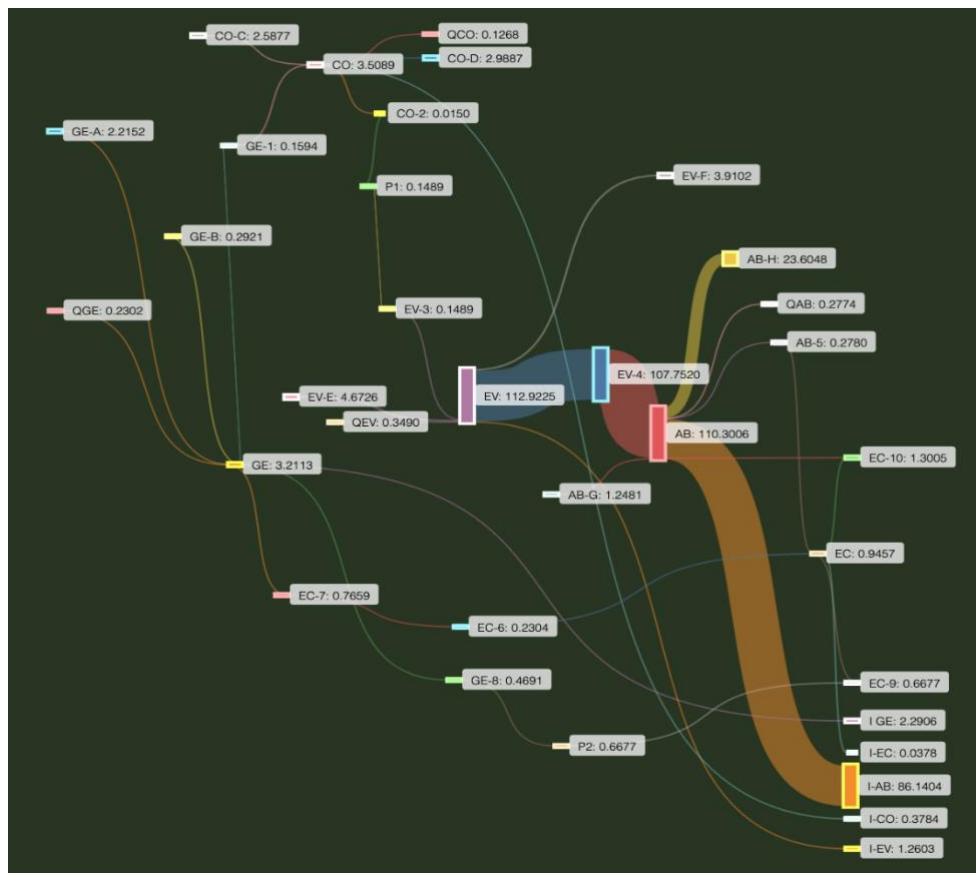


Figura 19. Diagrama de Sankey de cada uno de los componentes del AHT (Elaboración propia).

Desde la integración tecnológica hasta la perspectiva económica, se encontró que el AB representa el componente con mayor demanda de recursos. Al analizar conjuntamente su irreversibilidad y la cantidad de exergía gestionada, se estima que su operación implica un costo aproximado de 2 kW/USD por cada ciclo de funcionamiento del AHT. Este hallazgo resalta el impacto económico que tiene la baja eficiencia en componentes clave.

Sin embargo, al observar la evolución temporal del costo exergonómico por componente (Figura 20) se aprecia una disminución gradual del costo de la mayoría de los elementos del sistema. Este comportamiento está asociado principalmente al efecto acumulativo de la depreciación de los equipos a lo largo del tiempo. En contraste, el caso de las bombas presenta un comportamiento opuesto, ya que su costo se incrementa debido al peso creciente que adquiere el consumo de energía eléctrica en su operación.

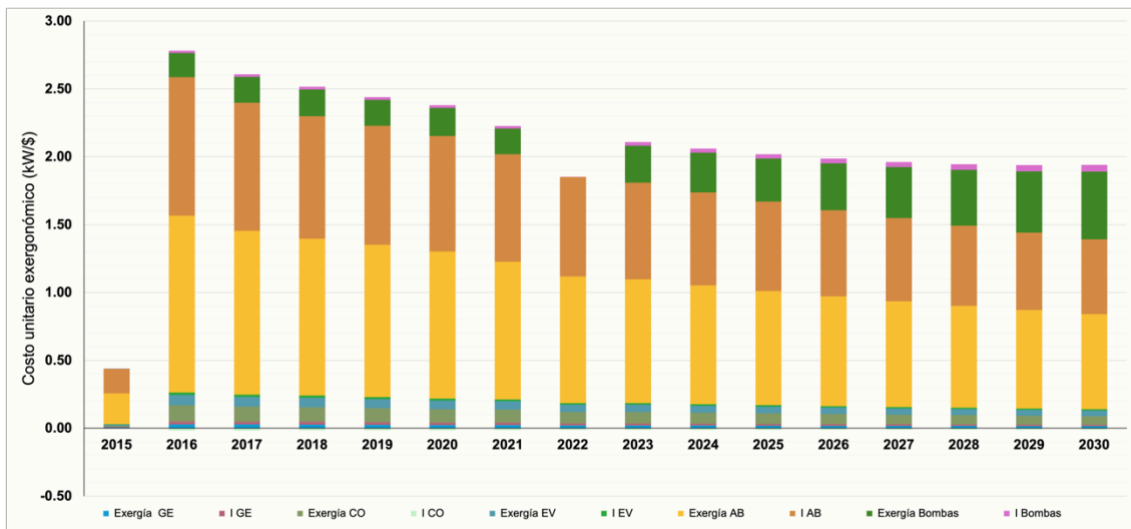


Figura 20. Evolución temporal del costo exergonómico por cada componente del AHT (Elaboración propia).

Por otro lado, se confirma nuevamente el impacto de la temperatura ambiente sobre el sistema. En escenarios con temperaturas más bajas, el costo exergonómico total tiende a incrementarse, debido a que una menor temperatura ambiente reduce el gradiente térmico disponible, haciendo menos eficiente la conversión de exergía útil. Esta condición provoca un aumento en las

irreversibilidades del sistema, y en consecuencia, incrementa el costo energético y económico por unidad de trabajo útil producido. Así, este resultado reafirma que la localización geográfica y el entorno térmico donde se instala el sistema tienen una influencia directa sobre su desempeño exerگونómico y su viabilidad operativa.

4.4. Dimensión ambiental

Se encontró que los valores más altos del F_{ex} se presentan en los escenarios con temperaturas mínimas, mientras que los valores más bajos de F_{ex} corresponden a temperaturas máximas. Esto se debe a que cuando la temperatura ambiente es más alta, la diferencia térmica entre el sistema y su entorno es menor, lo que reduce el potencial de disipación de calor y, en consecuencia, disminuye el impacto ambiental. Por el contrario, a menores temperaturas ambientales, el gradiente térmico aumenta, lo que se traduce en un mayor flujo de exergía hacia el entorno y, por tanto, en un mayor valor de F_{ex} .

Se observó que los componentes tienen un mayor impacto ambiental en el escenario con temperatura mínima, ya que la menor temperatura del entorno incrementa el gradiente térmico, lo cual intensifica las pérdidas de exergía hacia el ambiente. Entre todos los dispositivos, los que más contribuyen al impacto ambiental fueron el *EV* y el *AB*, destacando a este último por encima del resto. En contraste, el *CO* es el componente que menos aporta al impacto ambiental, confirmándose su función como sumidero al utilizar eficientemente el trabajo útil invertido en su proceso.

Es importante señalar que el sistema cuenta con aislamiento efectivo en sus componentes, lo que contribuye a minimizar el impacto ambiental del conjunto dual *EV – AB*. Gracias a ello, a pesar de su mayor aporte de exergía, estos componentes no afectan significativamente a la zona en la que está instalado el sistema.

Los valores calculados de F_{ex} para los componentes críticos fueron:

- $EV - AB$: entre 0.1922 y 0.1962
- CO : entre 0.0487 y 0.0535

Estos resultados pueden visualizarse en la **Figura 21**, donde se muestran los comportamientos del F_{ex} de los principales componentes del AHT en los distintos escenarios térmicos.

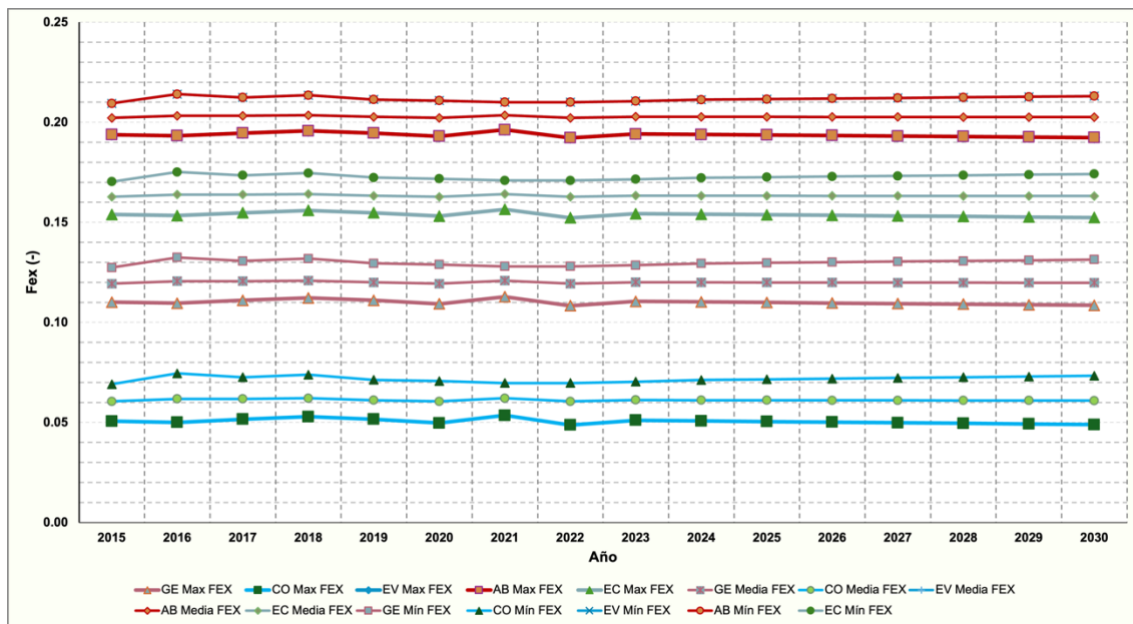


Figura 21. Comportamientos del F_{ex} de los principales componentes del AHT (Elaboración propia).

El uso del F_{ex} como parámetro de análisis permitió cuantificar de forma integrada la interacción energética y ambiental del AHT, y resaltó la importancia de establecer estrategias de operación diferenciales según las condiciones climáticas. De este modo, el modelo ABEEC no sólo permitió diagnosticar el desempeño del sistema, sino también establecer oportunidades para su mejora sostenible.

4.5. Optimización y toma de decisiones

Con base en los resultados obtenidos en las fases anteriores, se formuló una función objetivo global (**Ecuación 15**) que integra los criterios económico, tecnológico y ambiental mediante una estructura de ponderación flexible.

Debido a que las unidades de las variables críticas, como el costo total (USD\$), las irreversibilidades (kW) y la eficiencia exergética (adimensional), son diferentes entre sí, fue necesario normalizar los datos antes de aplicar el modelo de optimización. Esta normalización permitió que cada variable tuviera un peso equitativo dentro del análisis, asegurando que los resultados obtenidos fueran óptimos y significativos.

El modelo se resolvió para múltiples combinaciones de pesos a través de un análisis de sensibilidad, lo que permitió observar el impacto de cada criterio en la decisión final. Este análisis ayudó a construir un mapa de soluciones óptimas bajo distintos escenarios de priorización, tales como:

- Enfoque tecnológico: Maximización de la eficiencia exergética y reducción de irreversibilidades.
- Enfoque económico: Minimización de los costos globales del sistema.
- Enfoque ambiental: Minimización del impacto térmico representado por el factor exergético (F_{ex}).

Los resultados de la **Tabla 4** mostraron que cuando se otorga mayor peso al criterio económico (ω_1), el modelo favorece configuraciones con mayor uso de componentes de menor costo, aunque a expensas de una ligera reducción en la eficiencia. Por el contrario, al priorizar la eficiencia exergética (ω_3), se observaron condiciones operativas más exigentes, pero con mejor aprovechamiento del trabajo útil y menor generación de irreversibilidades.

Tabla 4. Configuración óptima para AHT (Elaboración propia).

Componente	ω_1	ω_2	ω_3	F_{TTA}
GE	0.1	0.8	0.1	0.3398
EV	0.1	0.8	0.1	
AB	0.1	0.8	0.1	
CO	0.8	0.1	0.1	

Como se muestra en la **Figura 22**, el análisis de sensibilidad permitió visualizar el comportamiento de la función objetivo frente a diferentes combinaciones de pesos, ayudando a identificar zonas de equilibrio entre sostenibilidad, costo y rendimiento térmico. Esta herramienta se convierte en un apoyo valioso para la toma de decisiones estratégicas, ya que permite seleccionar la configuración óptima del sistema dependiendo del contexto y los objetivos de quien diseña o gestiona el sistema energético.

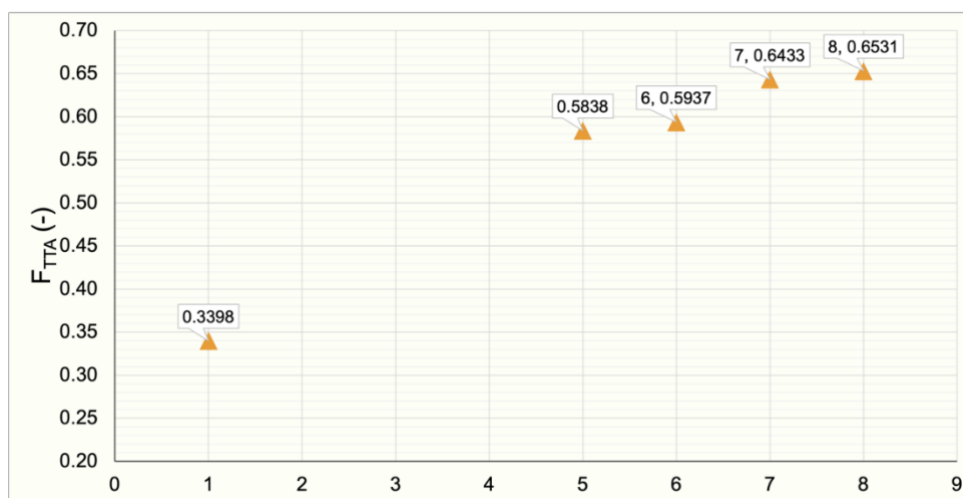


Figura 22. Análisis de sensibilidad para AHT (Elaboración propia).

Para un mejor desempeño de componentes individuales, se identificó que el *GE*, *EV* y *AB* alcanzan sus condiciones óptimas cuando se asignan pesos de prioridad de 0.4, 0.4 y 0.2 respectivamente, y , enfatizando la importancia de la eficiencia técnica sobre el costo o el impacto ambiental. En contraste, para obtener un desempeño óptimo global del sistema AHT, el *CO* requiere una configuración donde se ubique en la segunda etapa, operando a baja presión y

temperatura (aprox. 35–40 °C), integrado en serie con los absorbedores para maximizar la recuperación de calor residual y mejorar el COP del sistema, y, debido a que es el componente con menor impacto ambiental (bajo F_{ex}) y que utiliza eficientemente el trabajo útil.

Este cambio en los pesos asignados resalta que, aunque los componentes como el AB, EV y GE presentan una interacción energética más compleja con el entorno, el CO permite balancear el rendimiento global del sistema cuando se le da prioridad económica. Esto demuestra que los criterios de optimización no deben abordarse de manera homogénea para todo el sistema, sino ajustarse a las características particulares de cada componente.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La aplicación del modelo ABEEC ha demostrado ser una herramienta versátil y eficaz para evaluar sistemas energéticos desde una perspectiva integral. Esta metodología no sólo incorpora el análisis técnico mediante el estudio de la eficiencia exergética y las irreversibilidades, sino que también introduce un enfoque económico detallado al vincular costos específicos a los flujos energéticos, y considera variables ambientales que muchas metodologías tradicionales omiten. Su carácter generalizado la convierte en una propuesta innovadora que puede adaptarse a distintos tipos de tecnologías térmicas y energéticas.

Durante su aplicación al sistema AHT, se resolvieron de manera efectiva los objetivos específicos planteados. En primer lugar, se realizó una revisión exhaustiva de las metodologías exergonómicas existentes, lo que permitió identificar sus limitaciones en cuanto a la integración de criterios económicos y ambientales. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis comparativo que facilitó reconocer variables comunes entre ellas, tales como la exergía, las irreversibilidades y el costo energético, además de aquellas relacionadas con el diseño del sistema. El siguiente paso fue la implementación de dichas metodologías en sistemas reales, específicamente en el AHT, lo que permitió cuantificar pérdidas exergéticas, ineficiencias termodinámicas y los costos asociados. Finalmente, con base en los aprendizajes obtenidos, se desarrolló y validó una nueva propuesta metodológica generalizada ABEEC que integra eficientemente las dimensiones técnica, económica y ambiental, cumpliendo satisfactoriamente con los objetivos planteados.

Una vez aplicada la metodología, se pudo observar con claridad cómo la temperatura ambiente afecta tanto el comportamiento exergético como los costos asociados. El modelo permitió identificar que los componentes con mayores pérdidas y costos exergonómicos fueron el evaporador y el absorbedor,

mientras que el condensador presentó el mejor desempeño al actuar como sumidero. A su vez, el análisis de sensibilidad reveló que las decisiones óptimas dependen de los pesos asignados a los criterios económicos, técnicos y ambientales, y que estos varían en función de cada componente.

A partir de estos resultados, se concluye que el modelo AB2EC es una herramienta metodológica eficaz para diagnosticar el desempeño energético, económico y ambiental de un sistema. La metodología contribuye a la optimización integral del proceso y permite tomar decisiones más informadas para alcanzar mejoras sostenibles. También se confirma su potencial de replicabilidad en otros escenarios, ya que considera la interacción entre actividades, recursos y costos con un enfoque sistemático. Al incluir la variable ambiental dentro de una estructura de costos, se aporta una forma innovadora de interpretar la sostenibilidad energética.

Entre los beneficios observados destacan la posibilidad de anticipar decisiones de rediseño, realizar proyecciones económicas con menor incertidumbre, y adaptar la operación del sistema a diferentes contextos geográficos. Más aún, se abre la posibilidad de extender esta metodología a otras áreas de estudio, como el análisis de mercados desde una perspectiva exergonómica social, en donde el uso eficiente de recursos pueda correlacionarse con impactos económicos y sociales en sectores productivos.

El modelo aquí propuesto no sólo aporta una nueva forma de entender la eficiencia energética, sino que plantea una base sólida para futuras investigaciones orientadas a la sostenibilidad tecnológica, económica y ambiental. Un hallazgo relevante fue que los aspectos externos comerciales como las condiciones geopolíticas que afectan directamente las evaluaciones exergonómicas. Por ello, se vuelve imprescindible realizar un estudio económico exhaustivo de los sistemas energéticos, considerando además la ubicación geográfica como una variable clave. Esta visión refuerza la necesidad de integrar dichas condiciones en los procesos de toma de decisiones, no sólo desde una perspectiva tecnológica, sino también en lo relativo a las decisiones estratégicas de inversión. Además, el uso del modelo ABEEC también contribuye

positivamente a la escalabilidad de los sistemas energéticos en términos de madurez tecnológica (TRL), ya que facilita la incorporación de análisis económicos necesarios para alcanzar niveles 5 y 6 de desarrollo, donde se requiere una evaluación más precisa del desempeño técnico y financiero en condiciones reales o cercanas a las operativas.

En conclusión, el desarrollo de la presente tesis no sólo permitió alcanzar los objetivos planteados, sino también ofrecer una contribución metodológica de valor para el campo de la ingeniería energética. La propuesta del modelo ABEEC se consolida como una herramienta que integra de manera estructurada la eficiencia exergética, el análisis económico detallado y la dimensión ambiental, respondiendo a los desafíos actuales de sostenibilidad. Su aplicabilidad en sistemas reales, como el AHT, y su potencial de adaptación a otros contextos, revelan que metodologías como esta serán esenciales para la evaluación de tecnologías emergentes. De cara al futuro, el modelo se presenta como una plataforma útil para avanzar hacia un diseño más estratégico, responsable y resiliente de los sistemas energéticos del siglo XXI.

ANEXO 1

Costos exergonómicos a temperaturas máxima, media y mínima

MÁXIMA										
Año	Exergía GE	I GE	Exergía CO	I CO	Exergía EV	I EV	Exergía AB	I AB	Exergía Bombas	I Bombas
2015	\$ 0.0061	\$ 0.0043	\$ 0.0064	-\$ 0.0009	\$ 0.0105	\$ 0.0022	\$ 0.2286	\$ 0.1791	\$ 0.0013	\$ 0.0001
2016	\$ 0.0292	\$ 0.0206	\$ 0.1191	-\$ 0.0169	\$ 0.0775	\$ 0.0166	\$ 1.3026	\$ 1.0213	\$ 0.1771	\$ 0.0178
2017	\$ 0.0280	\$ 0.0199	\$ 0.1118	-\$ 0.0158	\$ 0.0728	\$ 0.0154	\$ 1.2063	\$ 0.9437	\$ 0.1910	\$ 0.0195
2018	\$ 0.0275	\$ 0.0196	\$ 0.1082	-\$ 0.0153	\$ 0.0706	\$ 0.0148	\$ 1.1556	\$ 0.9025	\$ 0.1976	\$ 0.0204
2019	\$ 0.0260	\$ 0.0185	\$ 0.1039	-\$ 0.0147	\$ 0.0677	\$ 0.0143	\$ 1.1209	\$ 0.8769	\$ 0.1915	\$ 0.0195
2020	\$ 0.0241	\$ 0.0170	\$ 0.0989	-\$ 0.0141	\$ 0.0643	\$ 0.0138	\$ 1.0842	\$ 0.8504	\$ 0.2061	\$ 0.0207
2021	\$ 0.0244	\$ 0.0175	\$ 0.0954	-\$ 0.0135	\$ 0.0623	\$ 0.0130	\$ 1.0141	\$ 0.7913	\$ 0.1896	\$ 0.0197
2022	\$ 0.0203	\$ 0.0143	\$ 0.0845	-\$ 0.0120	\$ 0.0548	\$ 0.0119	\$ 0.9325	\$ 0.7324	\$ 0.0005	\$ 0.0001
2023	\$ 0.0209	\$ 0.0148	\$ 0.0841	-\$ 0.0119	\$ 0.0547	\$ 0.0116	\$ 0.9106	\$ 0.7129	\$ 0.2714	\$ 0.0275
2024	\$ 0.0199	\$ 0.0141	\$ 0.0805	-\$ 0.0114	\$ 0.0524	\$ 0.0112	\$ 0.8742	\$ 0.6847	\$ 0.2934	\$ 0.0297
2025	\$ 0.0190	\$ 0.0135	\$ 0.0772	-\$ 0.0110	\$ 0.0502	\$ 0.0107	\$ 0.8404	\$ 0.6585	\$ 0.3180	\$ 0.0321
2026	\$ 0.0182	\$ 0.0129	\$ 0.0741	-\$ 0.0105	\$ 0.0482	\$ 0.0103	\$ 0.8088	\$ 0.6341	\$ 0.3455	\$ 0.0348
2027	\$ 0.0174	\$ 0.0123	\$ 0.0712	-\$ 0.0101	\$ 0.0463	\$ 0.0099	\$ 0.7794	\$ 0.6112	\$ 0.3765	\$ 0.0378
2028	\$ 0.0167	\$ 0.0118	\$ 0.0686	-\$ 0.0097	\$ 0.0445	\$ 0.0096	\$ 0.7517	\$ 0.5898	\$ 0.4117	\$ 0.0412
2029	\$ 0.0160	\$ 0.0113	\$ 0.0660	-\$ 0.0094	\$ 0.0429	\$ 0.0093	\$ 0.7258	\$ 0.5697	\$ 0.4521	\$ 0.0451
2030	\$ 0.0153	\$ 0.0108	\$ 0.0637	-\$ 0.0091	\$ 0.0413	\$ 0.0089	\$ 0.7014	\$ 0.5508	\$ 0.4987	\$ 0.0496

MEDIA										
Año	Costo unitario por exergía I GE	Costo unitario por irreversibilidades GE	Costo unitario por exergía CO	Costo unitario por irreversibilidades CO	Costo unitario por exergía EV	Costo unitario por irreversibilidades EV	Costo unitario por exergía AB	Costo unitario por irreversibilidades AB	Costo unitario por exergía PS	Costo unitario por irreversibilidades PS
2015	\$ 0.0074	\$ 0.0054	\$ 0.0069	-\$ 0.0010	\$ 0.0115	\$ 0.0023	\$ 0.2294	\$ 0.1773	\$ 0.0013	\$ 0.0001
2016	\$ 0.0367	\$ 0.0267	\$ 0.1311	-\$ 0.0184	\$ 0.0863	\$ 0.0171	\$ 1.3084	\$ 1.0093	\$ 0.1771	\$ 0.0198
2017	\$ 0.0339	\$ 0.0248	\$ 0.1213	-\$ 0.0170	\$ 0.0798	\$ 0.0158	\$ 1.2109	\$ 0.9341	\$ 0.1910	\$ 0.0213
2018	\$ 0.0327	\$ 0.0239	\$ 0.1165	-\$ 0.0163	\$ 0.0767	\$ 0.0151	\$ 1.1596	\$ 0.8942	\$ 0.1976	\$ 0.0221
2019	\$ 0.0312	\$ 0.0227	\$ 0.1122	-\$ 0.0157	\$ 0.0738	\$ 0.0146	\$ 1.1249	\$ 0.8685	\$ 0.1915	\$ 0.0213
2020	\$ 0.0298	\$ 0.0217	\$ 0.1081	-\$ 0.0152	\$ 0.0710	\$ 0.0142	\$ 1.0886	\$ 0.8413	\$ 0.2061	\$ 0.0228
2021	\$ 0.0287	\$ 0.0209	\$ 0.1022	-\$ 0.0143	\$ 0.0673	\$ 0.0133	\$ 1.0174	\$ 0.7845	\$ 0.1896	\$ 0.0212
2022	\$ 0.0257	\$ 0.0187	\$ 0.0930	-\$ 0.0131	\$ 0.0611	\$ 0.0122	\$ 0.9366	\$ 0.7238	\$ 0.0005	\$ 0.0001
2023	\$ 0.0254	\$ 0.0185	\$ 0.0913	-\$ 0.0128	\$ 0.0600	\$ 0.0119	\$ 0.9141	\$ 0.7056	\$ 0.2714	\$ 0.0302
2024	\$ 0.0243	\$ 0.0177	\$ 0.0876	-\$ 0.0123	\$ 0.0576	\$ 0.0114	\$ 0.8776	\$ 0.6776	\$ 0.2934	\$ 0.0326
2025	\$ 0.0234	\$ 0.0170	\$ 0.0842	-\$ 0.0118	\$ 0.0553	\$ 0.0110	\$ 0.8438	\$ 0.6515	\$ 0.3180	\$ 0.0353
2026	\$ 0.0225	\$ 0.0164	\$ 0.0811	-\$ 0.0114	\$ 0.0533	\$ 0.0106	\$ 0.8122	\$ 0.6271	\$ 0.3455	\$ 0.0383
2027	\$ 0.0217	\$ 0.0158	\$ 0.0781	-\$ 0.0110	\$ 0.0513	\$ 0.0102	\$ 0.7827	\$ 0.6044	\$ 0.3765	\$ 0.0418
2028	\$ 0.0209	\$ 0.0152	\$ 0.0753	-\$ 0.0106	\$ 0.0495	\$ 0.0098	\$ 0.7550	\$ 0.5830	\$ 0.4117	\$ 0.0457
2029	\$ 0.0201	\$ 0.0147	\$ 0.0727	-\$ 0.0102	\$ 0.0478	\$ 0.0095	\$ 0.7290	\$ 0.5630	\$ 0.4521	\$ 0.0501
2030	\$ 0.0195	\$ 0.0142	\$ 0.0703	-\$ 0.0099	\$ 0.0462	\$ 0.0092	\$ 0.7046	\$ 0.5442	\$ 0.4987	\$ 0.0553

MÍNIMA										
Año	Costo unitario por exergía I GE	Costo unitario por irreversibilidades GE	Costo unitario por exergía CO	Costo unitario por irreversibilidades CO	Costo unitario por exergía EV	Costo unitario por irreversibilidades EV	Costo unitario por exergía AB	Costo unitario por irreversibilidades AB	Costo unitario por exergía PS	Costo unitario por irreversibilidades PS
2015	\$ 0.0085	\$ 0.0063	\$ 0.0074	-\$ 0.0010	\$ 0.0124	\$ 0.0023	\$ 0.2302	\$ 0.1758	\$ 0.0013	\$ 0.0002
2016	\$ 0.0447	\$ 0.0334	\$ 0.1440	-\$ 0.0199	\$ 0.0957	\$ 0.0175	\$ 1.3147	\$ 0.9963	\$ 0.1771	\$ 0.0219
2017	\$ 0.0403	\$ 0.0300	\$ 0.1315	-\$ 0.0182	\$ 0.0873	\$ 0.0162	\$ 1.2158	\$ 0.9239	\$ 0.1910	\$ 0.0233
2018	\$ 0.0393	\$ 0.0293	\$ 0.1271	-\$ 0.0176	\$ 0.0844	\$ 0.0155	\$ 1.1648	\$ 0.8835	\$ 0.1976	\$ 0.0243
2019	\$ 0.0367	\$ 0.0273	\$ 0.1211	-\$ 0.0168	\$ 0.0803	\$ 0.0150	\$ 1.1292	\$ 0.8596	\$ 0.1915	\$ 0.0231
2020	\$ 0.0352	\$ 0.0261	\$ 0.1167	-\$ 0.0162	\$ 0.0773	\$ 0.0145	\$ 1.0928	\$ 0.8326	\$ 0.2061	\$ 0.0247
2021	\$ 0.0324	\$ 0.0240	\$ 0.1083	-\$ 0.0151	\$ 0.0717	\$ 0.0135	\$ 1.0203	\$ 0.7784	\$ 0.1896	\$ 0.0226
2022	\$ 0.0299	\$ 0.0221	\$ 0.0998	-\$ 0.0139	\$ 0.0660	\$ 0.0124	\$ 0.9399	\$ 0.7171	\$ 0.0005	\$ 0.0001
2023	\$ 0.0294	\$ 0.0218	\$ 0.0978	-\$ 0.0136	\$ 0.0648	\$ 0.0121	\$ 0.9172	\$ 0.6991	\$ 0.2714	\$ 0.0325
2024	\$ 0.0286	\$ 0.0212	\$ 0.0945	-\$ 0.0131	\$ 0.0626	\$ 0.0117	\$ 0.8810	\$ 0.6707	\$ 0.2934	\$ 0.0354
2025	\$ 0.0276	\$ 0.0205	\$ 0.0911	-\$ 0.0126	\$ 0.0604	\$ 0.0112	\$ 0.8471	\$ 0.6446	\$ 0.3180	\$ 0.0384
2026	\$ 0.0268	\$ 0.0199	\$ 0.0879	-\$ 0.0122	\$ 0.0583	\$ 0.0108	\$ 0.8155	\$ 0.6203	\$ 0.3455	\$ 0.0419
2027	\$ 0.0259	\$ 0.0193	\$ 0.0849	-\$ 0.0118	\$ 0.0563	\$ 0.0104	\$ 0.7860	\$ 0.5975	\$ 0.3765	\$ 0.0458
2028	\$ 0.0251	\$ 0.0187	\$ 0.0822	-\$ 0.0114	\$ 0.0545	\$ 0.0101	\$ 0.7583	\$ 0.5762	\$ 0.4117	\$ 0.0502
2029	\$ 0.0244	\$ 0.0181	\$ 0.0795	-\$ 0.0110	\$ 0.0527	\$ 0.0097	\$ 0.7323	\$ 0.5562	\$ 0.4521	\$ 0.0553
2030	\$ 0.0237	\$ 0.0176	\$ 0.0771	-\$ 0.0107	\$ 0.0511	\$ 0.0094	\$ 0.7079	\$ 0.5374	\$ 0.4987	\$ 0.0611

Cálculo exergético a temperaturas máxima, media y mínima

Temperatura a 25 C		Q		m	Pa	TmExp	Tem ambiente	Concentración	HtCalc	StCalc	Exergía
Componente	Flujo	KW	kg/s	kPa	K	K	% wgt	kW/kg	kW/kg	kW	
GE	ENTRADA	A	0.124763	81.9	356.37	298.15	0	349	1.111	2.2152	
GE	ENTRADA	7	0.124763	81.9	347.46	298.15	0.496938	159	0.5127	0.7659	
GE	SALIDA	1	0.0009	8.2121	390.15	298.15	0	2723	8.539	0.1594	
GE	SALIDA	8	0.01975	81.9	345.08	298.15	0.522233	155	0.4402	0.4691	
GE	SALIDA	B	0.01975	81.9	353.21	298.15	0	335.3	1.075	0.2921	
GE	ENTRADA	QGE	2.050845		335.84	298.15				0.2302	
CO	ENTRADA	1	0.0009	8.2121	390.15	298.15	0	2723	8.539	0.1594	
CO	ENTRADA	C	0.14694	81.9	35.76	298.15	0	149.9	0.4437	2.5877	
CO	SALIDA	D	0.14694	81.9	40.56	298.15	0	169.9	0.5014	2.9987	
CO	SALIDA	2	0.0009	8.2121	33.26	298.15	0	139.4	0.4285	0.0105	
CO	SALIDA	QCO	2.398947		314.79	298.15				0.1268	
P1	ENTRADA	2	0.0009	8.2121	33.26	298.15	0	139.4	0.4285	0.0105	
P1	SALIDA	3	0.00965	32.62	38.41	298.15	0	160.9	0.4879	0.1489	
EV	ENTRADA	3	0.00965	32.62	38.41	298.15	0	160.9	0.4879	0.1489	
EV	ENTRADA	E	0.142642	81.9	79.31	298.15	0	332.1	1.004	4.6726	
EV	SALIDA	F	0.142642	81.9	76.33	298.15	0	319.6	0.98	3.9102	
EV	SALIDA	4	0.05613	32.62	53.55	298.15	0	2143	0.749	107.7520	
EV	ENTRADA	QEV	1.783582		370.695	298.15				0.3490	
AB	ENTRADA	4	0.05613	32.62	53.55	298.15	0	2143	0.749	107.7520	
AB	ENTRADA	G	0.05202	81.9	94.01	298.15	0	393.4	1.239	1.2481	
AB	ENTRADA	10	0.05202	81.9	79.43	298.15	0.522233	171.6	0.4917	1.3005	
AB	SALIDA	H	0.05202	81.9	98.86	298.15	0	2672	7.44	23.6048	
AB	SALIDA	5	0.0271	81.9	84.70	298.15	0.496938	182.5	0.5777	0.2780	
AB	SALIDA	QAB	1.417279		370.695	298.15				0.2774	
EC	ENTRADA	5	0.0271	81.9	84.70	298.15	0.496938	182.5	0.5777	0.2780	
EC	ENTRADA	9	0.0271	81.9	79.17	298.15	0.522233	171	0.4909	0.6677	
EC	SALIDA	10	0.0271	81.9	79.43	298.15	0.522233	171.6	0.4917	0.6775	
EC	SALIDA	6	0.0271	81.9	76.99	298.15	0.496938	165	0.5249	0.2304	

A temperatura ambiente promedio anual			22.37 C		295.52 K		Base				
Temperatura a 25 C			Q	m	Pa	TmExp	Tem ambiente	Concentración	HtCalc	StCalc	Exergia
Componente	Flujo	Q	kg/s	kPa	K	K	% wgt	kW/kg	kW/kg	kW	kW
GE	ENTRADA	A	0.124763	81.9	356.37	295.52	0	349	1.111	2.5798	
GE	ENTRADA	7	0.124763	81.9	347.46	295.52	0.496938	159	0.5127	0.9341	
GE	SALIDA	1	0.0009	8.2121	390.15	295.52	0	2723	8.539	0.1796	
GE	SALIDA	8	0.01975	81.9	345.08	295.52	0.522233	155	0.4402	0.4920	
GE	SALIDA	B	0.01975	81.9	353.21	295.52	0	335.3	1.075	0.3479	
GE	ENTRADA	QGE	2.050845		335.84	295.52				0.2462	
CO	ENTRADA	1	0.0009	8.2121	390.15	295.52	0	2723	8.539	0.1796	
CO	ENTRADA	C	0.14694	81.9	35.76	295.52	0	149.9	0.4437	2.7592	
CO	SALIDA	D	0.14694	81.9	40.56	295.52	0	169.9	0.5014	3.1925	
CO	SALIDA	2	0.0009	8.2121	33.26	295.52	0	139.4	0.4285	0.0115	
CO	SALIDA	QCO	2.398947		314.79	295.52				0.1469	
P1	ENTRADA	2	0.0009	8.2121	33.26	295.52	0	139.4	0.4285	0.0115	
P1	SALIDA	3	0.00965	32.62	38.41	295.52	0	160.9	0.4879	0.1613	
EV	ENTRADA	3	0.00965	32.62	38.41	295.52	0	160.9	0.4879	0.1613	
EV	ENTRADA	E	0.142642	81.9	79.31	295.52	0	332.1	1.004	5.0492	
EV	SALIDA	F	0.142642	81.9	76.33	295.52	0	319.6	0.98	4.2779	
EV	SALIDA	4	0.05613	32.62	53.55	295.52	0	2143	0.749	107.8625	
EV	ENTRADA	QEV	1.783582		370.695	295.52				0.3617	
AB	ENTRADA	4	0.05613	32.62	53.55	295.52	0	2143	0.749	107.8625	
AB	ENTRADA	G	0.05202	81.9	94.01	295.52	0	393.4	1.239	1.4176	
AB	ENTRADA	10	0.05202	81.9	79.43	295.52	0.522233	171.6	0.4917	1.3678	
AB	SALIDA	H	0.05202	81.9	98.86	295.52	0	2672	7.44	24.6227	
AB	SALIDA	5	0.0271	81.9	84.70	295.52	0.496938	182.5	0.5777	0.3192	
AB	SALIDA	QAB	1.417279		370.695	295.52				0.2874	
EC	ENTRADA	5	0.0271	81.9	84.70	295.52	0.496938	182.5	0.5777	0.3192	
EC	ENTRADA	9	0.0271	81.9	79.17	295.52	0.522233	171	0.4909	0.7027	
EC	SALIDA	10	0.0271	81.9	79.43	295.52	0.522233	171.6	0.4917	0.7125	
EC	SALIDA	6	0.0271	81.9	76.99	295.52	0.496938	165	0.5249	0.2678	
P2	ENTRADA	8	0.01975	81.9	345.08	295.52	0.522233	155	0.4402	0.4920	
P2	SALIDA	9	0.01975	81.9	79.17	295.52	0.522233	171	0.4909	0.5121	

A temperatura ambiente mínima			19.5 C		292.65 K		Base				
Temperatura a 25 C			Q	m	Pa	TmExp	Tem ambiente	Concentración	HtCalc	StCalc	Exergia
Componente	Flujo	Q	kg/s	kPa	K	K	% wgt	kW/kg	kW/kg	kW	kW
GE	ENTRADA	A	0.124763	81.9	356.37	292.65	0	349	1.111	2.9776	
GE	ENTRADA	7	0.124763	81.9	347.46	292.65	0.496938	159	0.5127	1.1177	
GE	SALIDA	1	0.0009	8.2121	390.15	292.65	0	2723	8.539	0.2017	
GE	SALIDA	8	0.01975	81.9	345.08	292.65	0.522233	155	0.4402	0.5170	
GE	SALIDA	B	0.01975	81.9	353.21	292.65	0	335.3	1.075	0.4088	
GE	ENTRADA	QGE	2.050845		335.84	292.65				0.2637	
CO	ENTRADA	1	0.0009	8.2121	390.15	292.65	0	2723	8.539	0.2017	
CO	ENTRADA	C	0.14694	81.9	35.76	292.65	0	149.9	0.4437	2.9463	
CO	SALIDA	D	0.14694	81.9	40.56	292.65	0	169.9	0.5014	3.4039	
CO	SALIDA	2	0.0009	8.2121	33.26	292.65	0	139.4	0.4285	0.0126	
CO	SALIDA	QCO	2.398947		314.79	292.65				0.1687	
P1	ENTRADA	2	0.0009	8.2121	33.26	292.65	0	139.4	0.4285	0.0126	
P1	SALIDA	3	0.00965	32.62	38.41	292.65	0	160.9	0.4879	0.1748	
EV	ENTRADA	3	0.00965	32.62	38.41	292.65	0	160.9	0.4879	0.1748	
EV	ENTRADA	E	0.142642	81.9	79.31	292.65	0	332.1	1.004	5.4603	
EV	SALIDA	F	0.142642	81.9	76.33	292.65	0	319.6	0.98	4.6791	
EV	SALIDA	4	0.05613	32.62	53.55	292.65	0	2143	0.749	107.9832	
EV	ENTRADA	QEV	1.783582		370.695	292.65				0.3755	
AB	ENTRADA	4	0.05613	32.62	53.55	292.65	0	2143	0.749	107.9832	
AB	ENTRADA	G	0.05202	81.9	94.01	292.65	0	393.4	1.239	1.6026	
AB	ENTRADA	10	0.05202	81.9	79.43	292.65	0.522233	171.6	0.4917	1.4412	
AB	SALIDA	H	0.05202	81.9	98.86	292.65	0	2672	7.44	25.7335	
AB	SALIDA	5	0.0271	81.9	84.70	292.65	0.496938	182.5	0.5777	0.3641	
AB	SALIDA	QAB	1.417279		370.695	292.65				0.2984	
EC	ENTRADA	5	0.0271	81.9	84.70	292.65	0.496938	182.5	0.5777	0.3641	
EC	ENTRADA	9	0.0271	81.9	79.17	292.65	0.522233	171	0.4909	0.7409	
EC	SALIDA	10	0.0271	81.9	79.43	292.65	0.522233	171.6	0.4917	0.7508	
EC	SALIDA	6	0.0271	81.9	76.99	292.65	0.496938	165	0.5249	0.3086	
P2	ENTRADA	8	0.01975	81.9	345.08	292.65	0.522233	155	0.4402	0.5170	
P2	SALIDA	9	0.01975	81.9	79.17	292.65	0.522233	171	0.4909	0.5399	

Componente	Exergia de entrada	Exergia de salida	W	Irreversibilidades	Ef ex
	kW	kW	kW	kW	%
GE	3.2112	0.9206		2.2906	28.7%
CO	2.7471	3.1255		-0.3784	113.8%
P1			0.2075	0.0366	85.0%
EV	5.1706	3.9102		1.2603	75.6%
AB	110.3005	24.1602		86.1403	21.9%
EC	0.9457	0.9079		0.0378	96.0%

Componente	Exergía de entrada	Exergía de salida	W	Irreversibilidades	Ef ex
	kW	kW	kW	kW	%
GE	3.7601	1.0195		2.7405	27.1%
CO	2.9388	3.3393		-0.4005	113.6%
P1			0.2075	0.0381	84.5%
EV	5.5722	4.2779		1.2943	76.8%
AB	110.6479	25.2293		85.4186	22.8%
EC	1.0219	0.9803		0.0415	95.9%
P2			0.316	0.0201	94.0%

Componente	Exergía de entrada	Exergía de salida	W	Irreversibilidades	Ef ex
	kW	kW	kW	kW	%
GE	3.0923	0.8992		2.1931	29.1%
CO	2.7056	3.0792		-0.3736	113.8%
P1			0.2075	0.0362	85.1%
EV	5.0835	3.8306		1.2529	75.4%
AB	110.2252	23.9285		86.2968	21.7%
EC	0.9292	0.8922		0.0370	96.0%
P2			0.316	0.0169	94.9%

Año	GE		CO		P1		EV		AB		EC		Ef exergética	P2	
	Exergía de entrada	Irreversibilidades	Exergía de entrada	Irreversibilidades	W	Irreversibilidades	Exergía de entrada	Irreversibilidades	Exergía de entrada	Irreversibilidades	Exergía de entrada	Irreversibilidades		W	Irreversibilidades
	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	(-)	kW	kW
2015	3.0651	2.1709	2.6961	-0.3827	0.2075	0.0362	4.8470	1.0346	110.2081	86.3324	0.9254	0.0369	0.9602	0.3160	0.0168
2016	3.0234	2.1366	2.6815	-0.3809	0.2075	0.0361	4.8176	1.0332	110.1816	86.3873	0.9196	0.0366	0.9602	0.3160	0.0166
2017	3.1278	2.2222	2.7180	-0.3853	0.2075	0.0363	4.8911	1.0368	110.2477	86.2501	0.9341	0.0373	0.9601	0.3160	0.0171
2018	3.2112	2.2906	2.7471	-0.3889	0.2075	0.0366	4.9499	1.0397	110.3005	86.1403	0.9457	0.0378	0.9600	0.3160	0.0175
2019	3.1278	2.2222	2.7180	-0.3853	0.2075	0.0363	4.8911	1.0368	110.2477	86.2501	0.9341	0.0373	0.9601	0.3160	0.0171
2020	3.0025	2.1195	2.6742	-0.3801	0.2075	0.0360	4.8029	1.0325	110.1684	86.4148	0.9167	0.0364	0.9603	0.3160	0.0165
2021	3.2530	2.3248	2.7617	-0.3906	0.2075	0.0367	4.9793	1.0411	110.3269	86.0854	0.9515	0.0381	0.9599	0.3160	0.0177
2022	2.9399	2.0682	2.6524	-0.3774	0.2075	0.0358	4.7588	1.0303	110.1288	86.4971	0.9081	0.0360	0.9603	0.3160	0.0162
2023	3.0923	2.1931	2.7056	-0.3838	0.2075	0.0362	4.8661	1.0356	110.2252	86.2968	0.9292	0.0370	0.9601	0.3160	0.0169
2024	3.0714	2.1760	2.6983	-0.3830	0.2075	0.0362	4.8514	1.0348	110.2120	86.3242	0.9263	0.0369	0.9602	0.3160	0.0168
2025	3.0526	2.1606	2.6917	-0.3822	0.2075	0.0361	4.8382	1.0342	110.2001	86.3489	0.9237	0.0368	0.9602	0.3160	0.0167
2026	3.0318	2.1435	2.6844	-0.3813	0.2075	0.0361	4.8235	1.0335	110.1869	86.3763	0.9208	0.0366	0.9602	0.3160	0.0166
2027	3.0109	2.1264	2.6772	-0.3804	0.2075	0.0360	4.8088	1.0327	110.1737	86.4038	0.9179	0.0365	0.9603	0.3160	0.0165
2028	2.9921	2.1110	2.6706	-0.3796	0.2075	0.0360	4.7956	1.0321	110.1618	86.4285	0.9153	0.0364	0.9603	0.3160	0.0164
2029	2.9712	2.0939	2.6633	-0.3787	0.2075	0.0359	4.7809	1.0314	110.1486	86.4559	0.9124	0.0362	0.9603	0.3160	0.0163
2030	2.9504	2.0768	2.6560	-0.3779	0.2075	0.0359	4.7661	1.0306	110.1354	86.4834	0.9095	0.0361	0.9603	0.3160	0.0162

Año	GE		CO		P1		EV		AB		EC		Ef exergética	P2	
	Exergía de entrada	Irreversibilidades	Exergía de entrada	Irreversibilidades	W	Irreversibilidades	Exergía de entrada	Irreversibilidades	Exergía de entrada	Irreversibilidades	Exergía de entrada	Irreversibilidades		W	Irreversibilidades
	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	(-)	kW	kW
2015	3.7121	2.7012	2.9220	-0.4100	0.2075	0.0379	5.3028	1.0571	110.6175	85.4817	1.0152	0.0412	0.9594	0.3160	0.0199
2016	3.7955	2.7696	2.9512	-0.4135	0.2075	0.0382	5.3616	1.0600	110.6703	85.3719	1.0268	0.0418	0.9593	0.3160	0.0203
2017	3.7955	2.7696	2.9512	-0.4135	0.2075	0.0382	5.3616	1.0600	110.6703	85.3719	1.0268	0.0418	0.9593	0.3160	0.0203
2018	3.8164	2.7867	2.9585	-0.4144	0.2075	0.0382	5.3763	1.0607	110.6835	85.3445	1.0297	0.0419	0.9593	0.3160	0.0204
2019	3.7538	2.7354	2.9366	-0.4117	0.2075	0.0381	5.3322	1.0585	110.6439	85.4268	1.0210	0.0415	0.9594	0.3160	0.0201
2020	3.7121	2.7012	2.9220	-0.4100	0.2075	0.0379	5.3028	1.0571	110.6175	85.4817	1.0152	0.0412	0.9594	0.3160	0.0199
2021	3.8164	2.7867	2.9585	-0.4144	0.2075	0.0382	5.3763	1.0607	110.6835	85.3445	1.0297	0.0419	0.9593	0.3160	0.0204
2022	3.7121	2.7012	2.9220	-0.4100	0.2075	0.0379	5.3028	1.0571	110.6175	85.4817	1.0152	0.0412	0.9594	0.3160	0.0199
2023	3.7601	2.7405	2.9388	-0.4120	0.2075	0.0381	5.3366	1.0588	110.6479	85.4186	1.0219	0.0415	0.9593	0.3160	0.0201
2024	3.7538	2.7354	2.9366	-0.4117	0.2075	0.0381	5.3322	1.0585	110.6439	85.4268	1.0210	0.0415	0.9594	0.3160	0.0201
2025	3.7517	2.7337	2.9359	-0.4116	0.2075	0.0381	5.3308	1.0585	110.6426	85.4295	1.0207	0.0415	0.9594	0.3160	0.0200
2026	3.7496	2.7320	2.9352	-0.4116	0.2075	0.0381	5.3293	1.0584	110.6413	85.4323	1.0204	0.0415	0.9594	0.3160	0.0200
2027	3.7475	2.7303	2.9344	-0.4115	0.2075	0.0380	5.3278	1.0583	110.6399	85.4350	1.0201	0.0415	0.9594	0.3160	0.0200
2028	3.7455	2.7286	2.9337	-0.4114	0.2075	0.0380	5.3264	1.0582	110.6386	85.4378	1.0198	0.0414	0.9594	0.3160	0.0200
2029	3.7434	2.7269	2.9330	-0.4113	0.2075	0.0380	5.3249	1.0582	110.6373	85.4405	1.0196	0.0414	0.9594	0.3160	0.0200
2030	3.7413	2.7251	2.9322	-0.4112	0.2075	0.0380	5.3234	1.0581	110.6360	85.4433	1.0193	0.0414	0.9594	0.3160	0.0200

Año	GE		CO		P1		EV		AB		EC		Ef exergética	P2	
	Exergía de entrada	Irreversibilidades	Exergía de entrada	Irreversibilidades	W	Irreversibilidades	Exergía de entrada	Irreversibilidades	Exergía de entrada	Irreversibilidades	Exergía de entrada	Irreversibilidades		W	Irreversibilidades
	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	(-)	kW	kW
2015	4.2755	3.1631	3.1188	-0.4337	0.2075	0.0395	5.6998	1.0767	110.9741	84.7407	1.0934	0.0450	0.9588	0.3160	0.0226
2016	4.6303	3.4539	3.2427	-0.4487	0.2075	0.0405	5.9498	1.0890	111.1986	84.2742	1.1426	0.0474	0.9585	0.3160	0.0243
2017	4.5051	3.3513	3.1990	-0.4434	0.2075	0.0401	5.8616	1.0846	111.1194	84.4388	1.1253	0.0466	0.9586	0.3160	0.0237
2018	4.5885	3.4197	3.2281	-0.4469	0.2075	0.0404	5.9204	1.0875	111.1722	84.3291	1.1368	0.0471	0.9585	0.3160	0.0241
2019	4.4216	3.2828	3.1698	-0.4399	0.2075	0.0399	5.8028	1.0817	111.0665	84.5486	1.1137	0.0460	0.9587	0.3160	0.0233
2020	4.3799	3.2486	3.1553	-0.4381	0.2075	0.0398	5.7733	1.0803	111.0401	84.6035	1.1079	0.0457	0.9587	0.3160	0.0231
2021	4.3173	3.1973	3.1334	-0.4355	0.2075	0.0396	5.7292	1.0781	111.0005	84.6858	1.0992	0.0453	0.9588	0.3160	0.0228
2022	4.3173	3.1973	3.1334	-0.4355	0.2075	0.0396	5.7292	1.0781	111.0005	84.6858	1.0992	0.0453	0.9588	0.3160	0.0228
2023	4.3590	3.2315	3.1480	-0.4373	0.2075	0.0397	5.7586	1.0796	111.0269	84.6309	1.1050	0.0456	0.9587	0.3160	0.0230
2024	4.4153	3.2777	3.1677	-0.4396	0.2075	0.0399	5.7983	1.0815	111.0626	84.5568	1.1128	0.0460	0.9587	0.3160	0.0232
2025	4.4383	3.2965	3.1757	-0.4406	0.2075	0.0399	5.8145	1.0823	111.0771	84.5267	1.1160	0.0461	0.9587	0.3160	0.0233
2026	4.4612	3.3153	3.1837	-0.4416	0.2075	0.0400	5.8307	1.0831	111.0916	84.4965	1.1192	0.0463	0.9586	0.3160	0.0235
2027	4.4842	3.3342	3.1917	-0.4425	0.2075	0.0401	5.8469	1.0839	111.1062	84.4663	1.1224	0.0464	0.9586	0.3160	0.0236
2028	4.5072	3.3530	3.1997	-0.4435	0.2075	0.0401	5.8630	1.0847	111.1207	84.4361	1.1255	0.0466	0.9586	0.3160	0.0237
2029	4.5301	3.3718	3.2077	-0.4445	0.2075	0.0402	5.8792	1.0855	111.1352	84.4059	1.1287	0.0467	0.9586	0.3160	0.0238
2030	4.5552	3.3923	3.2165	-0.4455	0.2075	0.0403	5.8969	1.0864	111.1511	84.3730	1.1322	0.0469	0.9586	0.3160	0.0239

Cálculo de *Fex*

	GE Max	CO Max	EV Max	AB Max	EC Max
Año	FEX	FEX	FEX	FEX	FEX
2015	0.1101	0.0506	0.1938	0.1938	0.1539
2016	0.1095	0.0500	0.1933	0.1933	0.1534
2017	0.1110	0.0516	0.1946	0.1946	0.1548
2018	0.1122	0.0529	0.1957	0.1957	0.1559
2019	0.1110	0.0516	0.1946	0.1946	0.1548
2020	0.1092	0.0497	0.1930	0.1930	0.1531
2021	0.1128	0.0535	0.1962	0.1962	0.1565
2022	0.1084	0.0487	0.1922	0.1922	0.1522
2023	0.1105	0.0510	0.1942	0.1942	0.1543
2024	0.1102	0.0507	0.1939	0.1939	0.1540
2025	0.1100	0.0504	0.1936	0.1936	0.1538
2026	0.1097	0.0501	0.1934	0.1934	0.1535
2027	0.1094	0.0498	0.1931	0.1931	0.1532
2028	0.1091	0.0495	0.1929	0.1929	0.1529
2029	0.1088	0.0492	0.1926	0.1926	0.1527
2030	0.1085	0.0489	0.1923	0.1923	0.1524

	GE Media	CO Media	EV Media	AB Media	EC Media
Año	FEX	FEX	FEX	FEX	FEX
2015	0.1194	0.0605	0.2022	0.2022	0.1627
2016	0.1206	0.0618	0.2033	0.2033	0.1638
2017	0.1206	0.0618	0.2033	0.2033	0.1638
2018	0.1209	0.0621	0.2035	0.2035	0.1641
2019	0.1200	0.0611	0.2027	0.2027	0.1633
2020	0.1194	0.0605	0.2022	0.2022	0.1627
2021	0.1209	0.0621	0.2035	0.2035	0.1641
2022	0.1194	0.0605	0.2022	0.2022	0.1627
2023	0.1201	0.0612	0.2028	0.2028	0.1634
2024	0.1200	0.0611	0.2027	0.2027	0.1633
2025	0.1199	0.0611	0.2027	0.2027	0.1632
2026	0.1199	0.0611	0.2027	0.2027	0.1632
2027	0.1199	0.0610	0.2026	0.2026	0.1632
2028	0.1198	0.0610	0.2026	0.2026	0.1632
2029	0.1198	0.0610	0.2026	0.2026	0.1631
2030	0.1198	0.0609	0.2026	0.2026	0.1631

	GE Mín	CO Mín	EV Mín	AB Mín	EC Mín
Año	FEX	FEX	FEX	FEX	FEX
2015	0.1274	0.0691	0.2095	0.2095	0.1704
2016	0.1325	0.0745	0.2140	0.2140	0.1752
2017	0.1307	0.0726	0.2124	0.2124	0.1735
2018	0.1319	0.0738	0.2135	0.2135	0.1746
2019	0.1295	0.0713	0.2113	0.2113	0.1723
2020	0.1289	0.0707	0.2108	0.2108	0.1718
2021	0.1280	0.0697	0.2100	0.2100	0.1709
2022	0.1280	0.0697	0.2100	0.2100	0.1709
2023	0.1286	0.0703	0.2105	0.2105	0.1715
2024	0.1294	0.0712	0.2113	0.2113	0.1722
2025	0.1297	0.0715	0.2116	0.2116	0.1726
2026	0.1301	0.0719	0.2119	0.2119	0.1729
2027	0.1304	0.0722	0.2122	0.2122	0.1732
2028	0.1307	0.0726	0.2125	0.2125	0.1735
2029	0.1310	0.0729	0.2127	0.2127	0.1738
2030	0.1314	0.0733	0.2131	0.2131	0.1741

Cálculo de costos exergonómicos a diferentes temperaturas

MÁXIMA										
Año	Exergía GE	I GE	Exergía CO	I CO	Exergía EV	I EV	Exergía AB	I AB	Exergía Bombas	I Bombas
2015	\$ 0.0061	\$ 0.0043	\$ 0.0064	-\$ 0.0009	\$ 0.0105	\$ 0.0022	\$ 0.2286	\$ 0.1791	\$ 0.0013	\$ 0.0001
2016	\$ 0.0292	\$ 0.0206	\$ 0.1191	-\$ 0.0169	\$ 0.0775	\$ 0.0166	\$ 1.3026	\$ 1.0213	\$ 0.1771	\$ 0.0178
2017	\$ 0.0280	\$ 0.0199	\$ 0.1118	-\$ 0.0158	\$ 0.0728	\$ 0.0154	\$ 1.2063	\$ 0.9437	\$ 0.1910	\$ 0.0195
2018	\$ 0.0275	\$ 0.0196	\$ 0.1082	-\$ 0.0153	\$ 0.0706	\$ 0.0148	\$ 1.1556	\$ 0.9025	\$ 0.1976	\$ 0.0204
2019	\$ 0.0260	\$ 0.0185	\$ 0.1039	-\$ 0.0147	\$ 0.0677	\$ 0.0143	\$ 1.1209	\$ 0.8769	\$ 0.1915	\$ 0.0195
2020	\$ 0.0241	\$ 0.0170	\$ 0.0989	-\$ 0.0141	\$ 0.0643	\$ 0.0138	\$ 1.0842	\$ 0.8504	\$ 0.2061	\$ 0.0207
2021	\$ 0.0244	\$ 0.0175	\$ 0.0954	-\$ 0.0135	\$ 0.0623	\$ 0.0130	\$ 1.0141	\$ 0.7913	\$ 0.1896	\$ 0.0197
2022	\$ 0.0203	\$ 0.0143	\$ 0.0845	-\$ 0.0120	\$ 0.0548	\$ 0.0119	\$ 0.9325	\$ 0.7324	\$ 0.0005	\$ 0.0001
2023	\$ 0.0209	\$ 0.0148	\$ 0.0841	-\$ 0.0119	\$ 0.0547	\$ 0.0116	\$ 0.9106	\$ 0.7129	\$ 0.2714	\$ 0.0275
2024	\$ 0.0199	\$ 0.0141	\$ 0.0805	-\$ 0.0114	\$ 0.0524	\$ 0.0112	\$ 0.8742	\$ 0.6847	\$ 0.2934	\$ 0.0297
2025	\$ 0.0190	\$ 0.0135	\$ 0.0772	-\$ 0.0110	\$ 0.0502	\$ 0.0107	\$ 0.8404	\$ 0.6585	\$ 0.3180	\$ 0.0321
2026	\$ 0.0182	\$ 0.0129	\$ 0.0741	-\$ 0.0105	\$ 0.0482	\$ 0.0103	\$ 0.8088	\$ 0.6341	\$ 0.3455	\$ 0.0348
2027	\$ 0.0174	\$ 0.0123	\$ 0.0712	-\$ 0.0101	\$ 0.0463	\$ 0.0099	\$ 0.7794	\$ 0.6112	\$ 0.3765	\$ 0.0378
2028	\$ 0.0167	\$ 0.0118	\$ 0.0686	-\$ 0.0097	\$ 0.0445	\$ 0.0096	\$ 0.7517	\$ 0.5898	\$ 0.4117	\$ 0.0412
2029	\$ 0.0160	\$ 0.0113	\$ 0.0660	-\$ 0.0094	\$ 0.0429	\$ 0.0093	\$ 0.7258	\$ 0.5697	\$ 0.4521	\$ 0.0451
2030	\$ 0.0153	\$ 0.0108	\$ 0.0637	-\$ 0.0091	\$ 0.0413	\$ 0.0089	\$ 0.7014	\$ 0.5508	\$ 0.4987	\$ 0.0496

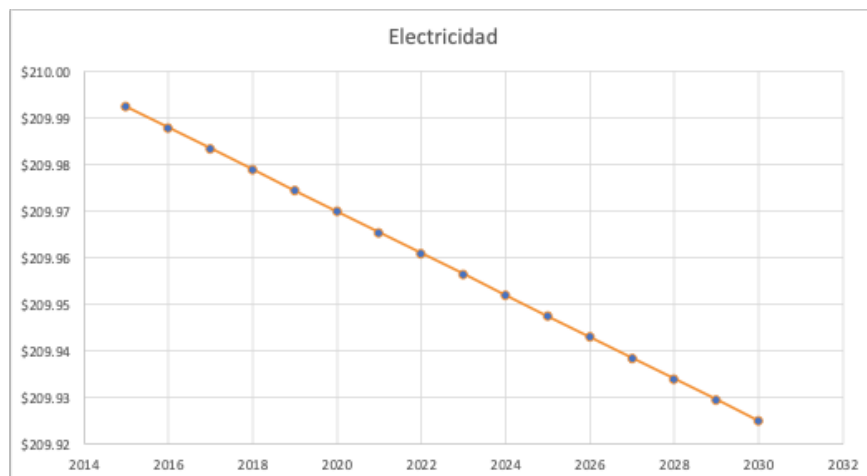
MEDIA										
Año	Costo unitario por exergía I GE	Costo unitario por irreversibilidades GE	Costo unitario por exergía CO	Costo unitario por irreversibilidades CO	Costo unitario por exergía EV	Costo unitario por irreversibilidades EV	Costo unitario por exergía AB	Costo unitario por irreversibilidades AB	Costo unitario por exergía PS	Costo unitario por irreversibilidades PS
2015	\$ 0.0074	\$ 0.0054	\$ 0.0069	-\$ 0.0010	\$ 0.0115	\$ 0.0023	\$ 0.2294	\$ 0.1773	\$ 0.0013	\$ 0.0001
2016	\$ 0.0367	\$ 0.0267	\$ 0.1311	-\$ 0.0184	\$ 0.0863	\$ 0.0171	\$ 1.3084	\$ 1.0093	\$ 0.1771	\$ 0.0198
2017	\$ 0.0339	\$ 0.0248	\$ 0.1213	-\$ 0.0170	\$ 0.0798	\$ 0.0158	\$ 1.2109	\$ 0.9341	\$ 0.1910	\$ 0.0213
2018	\$ 0.0327	\$ 0.0239	\$ 0.1165	-\$ 0.0163	\$ 0.0767	\$ 0.0151	\$ 1.1596	\$ 0.8942	\$ 0.1976	\$ 0.0221
2019	\$ 0.0312	\$ 0.0227	\$ 0.1122	-\$ 0.0157	\$ 0.0738	\$ 0.0146	\$ 1.1249	\$ 0.8685	\$ 0.1915	\$ 0.0213
2020	\$ 0.0298	\$ 0.0217	\$ 0.1081	-\$ 0.0152	\$ 0.0710	\$ 0.0142	\$ 1.0886	\$ 0.8413	\$ 0.2061	\$ 0.0228
2021	\$ 0.0287	\$ 0.0209	\$ 0.1022	-\$ 0.0143	\$ 0.0673	\$ 0.0133	\$ 1.0174	\$ 0.7845	\$ 0.1896	\$ 0.0212
2022	\$ 0.0257	\$ 0.0187	\$ 0.0930	-\$ 0.0131	\$ 0.0611	\$ 0.0122	\$ 0.9366	\$ 0.7238	\$ 0.0005	\$ 0.0001
2023	\$ 0.0254	\$ 0.0185	\$ 0.0913	-\$ 0.0128	\$ 0.0600	\$ 0.0119	\$ 0.9141	\$ 0.7056	\$ 0.2714	\$ 0.0302
2024	\$ 0.0243	\$ 0.0177	\$ 0.0876	-\$ 0.0123	\$ 0.0576	\$ 0.0114	\$ 0.8776	\$ 0.6776	\$ 0.2934	\$ 0.0326
2025	\$ 0.0234	\$ 0.0170	\$ 0.0842	-\$ 0.0118	\$ 0.0553	\$ 0.0110	\$ 0.8438	\$ 0.6515	\$ 0.3180	\$ 0.0353
2026	\$ 0.0225	\$ 0.0164	\$ 0.0811	-\$ 0.0114	\$ 0.0533	\$ 0.0106	\$ 0.8122	\$ 0.6271	\$ 0.3455	\$ 0.0383
2027	\$ 0.0217	\$ 0.0158	\$ 0.0781	-\$ 0.0110	\$ 0.0513	\$ 0.0102	\$ 0.7827	\$ 0.6044	\$ 0.3765	\$ 0.0418
2028	\$ 0.0209	\$ 0.0152	\$ 0.0753	-\$ 0.0106	\$ 0.0495	\$ 0.0098	\$ 0.7550	\$ 0.5830	\$ 0.4117	\$ 0.0457
2029	\$ 0.0201	\$ 0.0147	\$ 0.0727	-\$ 0.0102	\$ 0.0478	\$ 0.0095	\$ 0.7290	\$ 0.5630	\$ 0.4521	\$ 0.0501
2030	\$ 0.0195	\$ 0.0142	\$ 0.0703	-\$ 0.0099	\$ 0.0462	\$ 0.0092	\$ 0.7046	\$ 0.5442	\$ 0.4987	\$ 0.0553

MÍNIMA										
Año	Costo unitario por exergía I GE	Costo unitario por irreversibilidades GE	Costo unitario por exergía CO	Costo unitario por irreversibilidades CO	Costo unitario por exergía EV	Costo unitario por irreversibilidades EV	Costo unitario por exergía AB	Costo unitario por irreversibilidades AB	Costo unitario por exergía PS	Costo unitario por irreversibilidades PS
2015	\$ 0.0085	\$ 0.0063	\$ 0.0074	-\$ 0.0010	\$ 0.0124	\$ 0.0023	\$ 0.2302	\$ 0.1758	\$ 0.0013	\$ 0.0002
2016	\$ 0.0447	\$ 0.0334	\$ 0.1440	-\$ 0.0199	\$ 0.0957	\$ 0.0175	\$ 1.3147	\$ 0.9963	\$ 0.1771	\$ 0.0219
2017	\$ 0.0403	\$ 0.0300	\$ 0.1315	-\$ 0.0182	\$ 0.0873	\$ 0.0162	\$ 1.2158	\$ 0.9239	\$ 0.1910	\$ 0.0233
2018	\$ 0.0393	\$ 0.0293	\$ 0.1271	-\$ 0.0176	\$ 0.0844	\$ 0.0155	\$ 1.1648	\$ 0.8835	\$ 0.1976	\$ 0.0243
2019	\$ 0.0367	\$ 0.0273	\$ 0.1211	-\$ 0.0168	\$ 0.0803	\$ 0.0150	\$ 1.1292	\$ 0.8596	\$ 0.1915	\$ 0.0231
2020	\$ 0.0352	\$ 0.0261	\$ 0.1167	-\$ 0.0162	\$ 0.0773	\$ 0.0145	\$ 1.0928	\$ 0.8326	\$ 0.2061	\$ 0.0247
2021	\$ 0.0324	\$ 0.0240	\$ 0.1083	-\$ 0.0151	\$ 0.0717	\$ 0.0135	\$ 1.0203	\$ 0.7784	\$ 0.1896	\$ 0.0226
2022	\$ 0.0299	\$ 0.0221	\$ 0.0998	-\$ 0.0139	\$ 0.0660	\$ 0.0124	\$ 0.9399	\$ 0.7171	\$ 0.0005	\$ 0.0001
2023	\$ 0.0294	\$ 0.0218	\$ 0.0978	-\$ 0.0136	\$ 0.0648	\$ 0.0121	\$ 0.9172	\$ 0.6991	\$ 0.2714	\$ 0.0325
2024	\$ 0.0286	\$ 0.0212	\$ 0.0945	-\$ 0.0131	\$ 0.0626	\$ 0.0117	\$ 0.8810	\$ 0.6707	\$ 0.2934	\$ 0.0354
2025	\$ 0.0276	\$ 0.0205	\$ 0.0911	-\$ 0.0126	\$ 0.0604	\$ 0.0112	\$ 0.8471	\$ 0.6446	\$ 0.3180	\$ 0.0384
2026	\$ 0.0268	\$ 0.0199	\$ 0.0879	-\$ 0.0122	\$ 0.0583	\$ 0.0108	\$ 0.8155	\$ 0.6203	\$ 0.3455	\$ 0.0419
2027	\$ 0.0259	\$ 0.0193	\$ 0.0849	-\$ 0.0118	\$ 0.0563	\$ 0.0104	\$ 0.7860	\$ 0.5975	\$ 0.3765	\$ 0.0458
2028	\$ 0.0251	\$ 0.0187	\$ 0.0822	-\$ 0.0114	\$ 0.0545	\$ 0.0101	\$ 0.7583	\$ 0.5762	\$ 0.4117	\$ 0.0502
2029	\$ 0.0244	\$ 0.0181	\$ 0.0795	-\$ 0.0110	\$ 0.0527	\$ 0.0097	\$ 0.7323	\$ 0.5562	\$ 0.4521	\$ 0.0553
2030	\$ 0.0237	\$ 0.0176	\$ 0.0771	-\$ 0.0107	\$ 0.0511	\$ 0.0094	\$ 0.7079	\$ 0.5374	\$ 0.4987	\$ 0.0611

Costos de suministros (históricos)

Electricidad

Año	Precio
2015	209.9925
2016	209.988
2017	209.9835
2018	209.979
2019	209.9745
2020	209.97
2021	209.9655
2022	209.961
2023	209.9565
2024	209.952
2025	209.9475
2026	209.943
2027	209.9385
2028	209.934
2029	209.9295
2030	209.925



Acero 316L

Fecha	Precio en \$ mxn	Precio en USD\$	Precio inicial	Aumento de inflación mensual	Aumento mensual	Precio
ene-15	\$982.93	14.69	\$ 66.91	0.23%	\$ 0.15	\$ 67.06
feb-15	\$1,000.58	14.92	\$ 67.06	0.23%	\$ 0.15	\$ 67.21
mar-15	\$1,023.69	15.23	\$ 67.22	0.23%	\$ 0.15	\$ 67.37
abr-15	\$1,026.00	15.23	\$ 67.37	0.23%	\$ 0.15	\$ 67.52
may-15	\$1,030.35	15.26	\$ 67.52	0.23%	\$ 0.15	\$ 67.67
jun-15	\$1,047.58	15.48	\$ 67.67	0.23%	\$ 0.15	\$ 67.83
jul-15	\$1,081.15	15.94	\$ 67.83	0.23%	\$ 0.15	\$ 67.98
ago-15	\$1,124.39	16.54	\$ 67.98	0.23%	\$ 0.15	\$ 68.13
sep-15	\$1,148.74	16.86	\$ 68.13	0.23%	\$ 0.15	\$ 68.29
oct-15	\$1,130.85	16.56	\$ 68.29	0.23%	\$ 0.15	\$ 68.44
nov-15	\$1,138.20	16.63	\$ 68.44	0.23%	\$ 0.15	\$ 68.60
dic-15	\$1,170.96	17.07	\$ 68.60	0.23%	\$ 0.16	\$ 68.75
ene-16	\$1,242.67	18.07	\$ 68.77	0.25%	\$ 0.17	\$ 68.94
feb-16	\$1,273.36	18.47	\$ 68.94	0.25%	\$ 0.17	\$ 69.11
mar-16	\$1,216.42	17.6	\$ 69.11	0.25%	\$ 0.17	\$ 69.29
abr-16	\$1,211.85	17.49	\$ 69.29	0.25%	\$ 0.17	\$ 69.46
may-16	\$1,260.73	18.15	\$ 69.46	0.25%	\$ 0.17	\$ 69.64
jun-16	\$1,298.71	18.65	\$ 69.64	0.25%	\$ 0.17	\$ 69.81
jul-16	\$1,298.47	18.6	\$ 69.81	0.25%	\$ 0.17	\$ 69.98
ago-16	\$1,292.63	18.47	\$ 69.99	0.25%	\$ 0.17	\$ 70.16
sep-16	\$1,346.38	19.19	\$ 70.16	0.25%	\$ 0.18	\$ 70.34
oct-16	\$1,328.66	18.89	\$ 70.34	0.25%	\$ 0.18	\$ 70.51
nov-16	\$1,418.72	20.12	\$ 70.51	0.25%	\$ 0.18	\$ 70.69
dic-16	\$1,450.55	20.52	\$ 70.69	0.25%	\$ 0.18	\$ 70.87
ene-17	\$1,519.69	21.39	\$ 71.05	0.50%	\$ 0.36	\$ 71.40
feb-17	\$1,448.83	20.29	\$ 71.41	0.50%	\$ 0.36	\$ 71.77
mar-17	\$1,385.11	19.3	\$ 71.77	0.50%	\$ 0.36	\$ 72.13
abr-17	\$1,355.32	18.79	\$ 72.13	0.50%	\$ 0.36	\$ 72.49
may-17	\$1,360.00	18.76	\$ 72.49	0.50%	\$ 0.36	\$ 72.86
jun-17	\$1,320.97	18.13	\$ 72.86	0.50%	\$ 0.37	\$ 73.23
jul-17	\$1,305.68	17.83	\$ 73.23	0.50%	\$ 0.37	\$ 73.60
ago-17	\$1,310.81	17.81	\$ 73.60	0.50%	\$ 0.37	\$ 73.97
sep-17	\$1,319.66	17.84	\$ 73.97	0.50%	\$ 0.37	\$ 74.34
oct-17	\$1,399.19	18.82	\$ 74.35	0.50%	\$ 0.37	\$ 74.72
nov-17	\$1,413.73	18.92	\$ 74.72	0.50%	\$ 0.38	\$ 75.10
dic-17	\$1,487.72	19.81	\$ 75.10	0.50%	\$ 0.38	\$ 75.48
ene-18	\$1,425.94	18.91	\$ 75.41	0.41%	\$ 0.31	\$ 75.71
feb-18	\$1,411.34	18.64	\$ 75.72	0.41%	\$ 0.31	\$ 76.02
mar-18	\$1,416.36	18.63	\$ 76.03	0.41%	\$ 0.31	\$ 76.34
abr-18	\$1,403.85	18.39	\$ 76.34	0.41%	\$ 0.31	\$ 76.65
may-18	\$1,501.58	19.59	\$ 76.65	0.41%	\$ 0.31	\$ 76.96
jun-18	\$1,562.37	20.3	\$ 76.96	0.41%	\$ 0.31	\$ 77.28
jul-18	\$1,469.08	19.01	\$ 77.28	0.41%	\$ 0.32	\$ 77.59
ago-18	\$1,463.46	18.86	\$ 77.60	0.41%	\$ 0.32	\$ 77.91
sep-18	\$1,481.92	19.02	\$ 77.91	0.41%	\$ 0.32	\$ 78.23
oct-18	\$1,501.29	19.19	\$ 78.23	0.41%	\$ 0.32	\$ 78.55
nov-18	\$1,591.50	20.26	\$ 78.55	0.41%	\$ 0.32	\$ 78.87
dic-18	\$1,586.19	20.11	\$ 78.88	0.41%	\$ 0.32	\$ 79.20
ene-19	\$1,516.64	19.17	\$ 79.12	0.30%	\$ 0.24	\$ 79.35
feb-19	\$1,526.80	19.24	\$ 79.36	0.30%	\$ 0.24	\$ 79.60
mar-19	\$1,532.24	19.25	\$ 79.60	0.30%	\$ 0.24	\$ 79.84
abr-19	\$1,516.14	18.99	\$ 79.84	0.30%	\$ 0.24	\$ 80.08
may-19	\$1,531.16	19.12	\$ 80.08	0.30%	\$ 0.24	\$ 80.32
jun-19	\$1,547.86	19.27	\$ 80.32	0.30%	\$ 0.24	\$ 80.57
jul-19	\$1,534.84	19.05	\$ 80.57	0.30%	\$ 0.24	\$ 80.81
ago-19	\$1,591.22	19.69	\$ 80.81	0.30%	\$ 0.24	\$ 81.06
sep-19	\$1,587.95	19.59	\$ 81.06	0.30%	\$ 0.25	\$ 81.31
oct-19	\$1,570.83	19.32	\$ 81.31	0.30%	\$ 0.25	\$ 81.55
nov-19	\$1,576.42	19.33	\$ 81.55	0.30%	\$ 0.25	\$ 81.80
dic-19	\$1,563.21	19.11	\$ 81.80	0.30%	\$ 0.25	\$ 82.05
ene-20	\$1,542.17	18.8	\$ 82.03	0.28%	\$ 0.23	\$ 82.26
feb-20	\$1,549.79	18.84	\$ 82.26	0.28%	\$ 0.23	\$ 82.49
mar-20	\$1,846.16	22.38	\$ 82.49	0.28%	\$ 0.23	\$ 82.72
abr-20	\$2,007.70	24.27	\$ 82.72	0.28%	\$ 0.23	\$ 82.95
may-20	\$1,942.82	23.42	\$ 82.96	0.28%	\$ 0.23	\$ 83.19
jun-20	\$1,855.10	22.3	\$ 83.19	0.28%	\$ 0.23	\$ 83.42
jul-20	\$1,868.66	22.4	\$ 83.42	0.28%	\$ 0.23	\$ 83.66
ago-20	\$1,858.01	22.21	\$ 83.66	0.28%	\$ 0.23	\$ 83.89
sep-20	\$1,818.76	21.68	\$ 83.89	0.28%	\$ 0.23	\$ 84.13
oct-20	\$1,789.38	21.27	\$ 84.13	0.28%	\$ 0.24	\$ 84.36
nov-20	\$1,719.32	20.38	\$ 84.36	0.28%	\$ 0.24	\$ 84.60
dic-20	\$1,689.46	19.97	\$ 84.60	0.28%	\$ 0.24	\$ 84.84
ene-21	\$1,693.26	19.92	\$ 85.00	0.47%	\$ 0.40	\$ 85.41
feb-21	\$1,734.63	20.31	\$ 85.41	0.47%	\$ 0.40	\$ 85.81
mar-21	\$1,781.52	20.76	\$ 85.81	0.47%	\$ 0.41	\$ 86.22
abr-21	\$1,726.20	20.02	\$ 86.22	0.47%	\$ 0.41	\$ 86.63
may-21	\$1,729.22	19.96	\$ 86.63	0.47%	\$ 0.41	\$ 87.05
jun-21	\$1,743.56	20.03	\$ 87.05	0.47%	\$ 0.41	\$ 87.46
jul-21	\$1,746.61	19.97	\$ 87.46	0.47%	\$ 0.41	\$ 87.88
ago-21	\$1,764.60	20.08	\$ 87.88	0.47%	\$ 0.42	\$ 88.30
sep-21	\$1,770.36	20.05	\$ 88.30	0.47%	\$ 0.42	\$ 88.72
oct-21	\$1,815.17	20.46	\$ 88.72	0.47%	\$ 0.42	\$ 89.14
nov-21	\$1,863.04	20.9	\$ 89.14	0.47%	\$ 0.42	\$ 89.56
dic-21	\$1,871.02	20.89	\$ 89.57	0.47%	\$ 0.42	\$ 89.99
ene-22	\$1,847.78	20.5	\$ 90.14	0.63%	\$ 0.57	\$ 90.71
feb-22	\$1,855.02	20.45	\$ 90.71	0.63%	\$ 0.57	\$ 91.28
mar-22	\$1,876.88	20.56	\$ 91.29	0.63%	\$ 0.58	\$ 91.87
abr-22	\$1,847.49	20.11	\$ 91.87	0.63%	\$ 0.58	\$ 92.45
may-22	\$1,851.87	20.03	\$ 92.45	0.63%	\$ 0.59	\$ 93.04
jun-22	\$1,862.73	20.02	\$ 93.04	0.63%	\$ 0.59	\$ 93.63
jul-22	\$1,924.23	20.55	\$ 93.64	0.63%	\$ 0.59	\$ 94.23
ago-22	\$1,895.96	20.12	\$ 94.23	0.63%	\$ 0.60	\$ 94.83
sep-22	\$1,903.30	20.07	\$ 94.83	0.63%	\$ 0.60	\$ 95.43
oct-22	\$1,906.84	19.98	\$ 95.44	0.63%	\$ 0.60	\$ 96.04
nov-22	\$1,870.00	19.47	\$ 96.05	0.63%	\$ 0.61	\$ 96.65

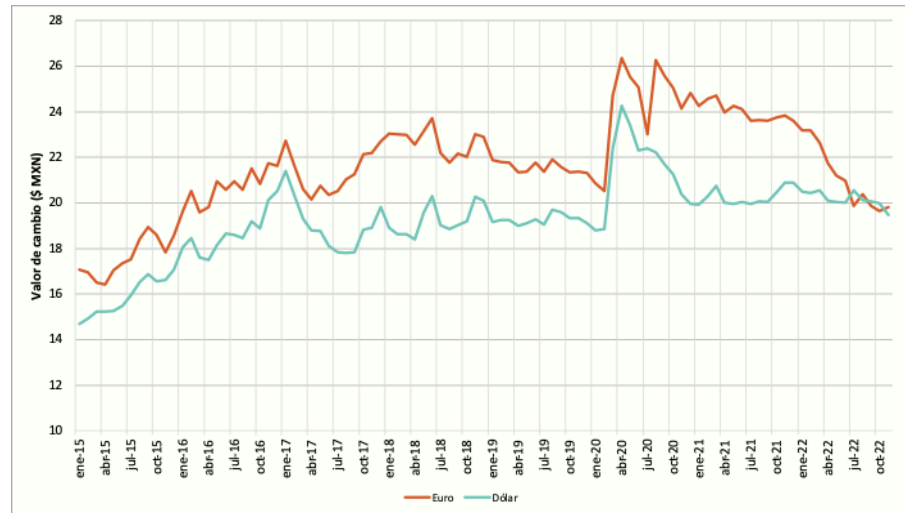
Fecha	Precio en \$	Precio en USD	Precio inicial	Aumento de inflación mensual	Aumento mensual	Precio
ene-15	\$ 2,884.42	14.69	\$ 196.35	0.23%	\$ 0.44	\$ 196.80
feb-15	\$ 2,936.22	14.92	\$ 196.80	0.23%	\$ 0.44	\$ 197.24
mar-15	\$ 3,004.02	15.23	\$ 197.24	0.23%	\$ 0.45	\$ 197.69
abr-15	\$ 3,010.82	15.23	\$ 197.69	0.23%	\$ 0.45	\$ 198.14
may-15	\$ 3,023.59	15.26	\$ 198.14	0.23%	\$ 0.45	\$ 198.59
jun-15	\$ 3,074.12	15.48	\$ 198.59	0.23%	\$ 0.45	\$ 199.04
jul-15	\$ 3,172.64	15.94	\$ 199.04	0.23%	\$ 0.45	\$ 199.49
ago-15	\$ 3,299.52	16.54	\$ 199.49	0.23%	\$ 0.45	\$ 199.94
sep-15	\$ 3,370.98	16.86	\$ 199.94	0.23%	\$ 0.45	\$ 200.39
oct-15	\$ 3,318.49	16.56	\$ 200.39	0.23%	\$ 0.45	\$ 200.85
nov-15	\$ 3,340.07	16.63	\$ 200.85	0.23%	\$ 0.45	\$ 201.30
dic-15	\$ 3,436.21	17.07	\$ 201.30	0.23%	\$ 0.45	\$ 201.76
ene-16	\$ 3,646.63	18.07	\$ 201.81	0.25%	\$ 0.50	\$ 202.31
feb-16	\$ 3,736.69	18.47	\$ 202.31	0.25%	\$ 0.51	\$ 202.82
mar-16	\$ 3,569.60	17.6	\$ 202.82	0.25%	\$ 0.51	\$ 203.33
abr-16	\$ 3,556.18	17.49	\$ 203.33	0.25%	\$ 0.51	\$ 203.84
may-16	\$ 3,699.63	18.15	\$ 203.84	0.25%	\$ 0.51	\$ 204.35
jun-16	\$ 3,811.07	18.65	\$ 204.35	0.25%	\$ 0.51	\$ 204.86
jul-16	\$ 3,810.38	18.6	\$ 204.86	0.25%	\$ 0.51	\$ 205.37
ago-16	\$ 3,793.23	18.47	\$ 205.37	0.25%	\$ 0.51	\$ 205.89
sep-16	\$ 3,950.98	19.19	\$ 205.89	0.25%	\$ 0.51	\$ 206.40
oct-16	\$ 3,898.96	18.89	\$ 206.40	0.25%	\$ 0.52	\$ 206.92
nov-16	\$ 4,163.25	20.12	\$ 206.92	0.25%	\$ 0.52	\$ 207.44
dic-16	\$ 4,256.66	20.52	\$ 207.44	0.25%	\$ 0.52	\$ 207.96
ene-17	\$ 4,459.56	21.39	\$ 208.49	0.50%	\$ 1.05	\$ 209.54
feb-17	\$ 4,251.61	20.29	\$ 209.54	0.50%	\$ 1.05	\$ 210.60
mar-17	\$ 4,064.61	19.3	\$ 210.60	0.50%	\$ 1.06	\$ 211.66
abr-17	\$ 3,977.21	18.79	\$ 211.67	0.50%	\$ 1.06	\$ 212.73
may-17	\$ 3,990.93	18.76	\$ 212.74	0.50%	\$ 1.07	\$ 213.81
jun-17	\$ 3,876.40	18.13	\$ 213.81	0.50%	\$ 1.08	\$ 214.89
jul-17	\$ 3,831.53	17.83	\$ 214.89	0.50%	\$ 1.08	\$ 215.97
ago-17	\$ 3,846.58	17.81	\$ 215.98	0.50%	\$ 1.09	\$ 217.07
sep-17	\$ 3,872.54	17.84	\$ 217.07	0.50%	\$ 1.09	\$ 218.16
oct-17	\$ 4,105.92	18.82	\$ 218.17	0.50%	\$ 1.10	\$ 219.27
nov-17	\$ 4,148.61	18.92	\$ 219.27	0.50%	\$ 1.10	\$ 220.37
dic-17	\$ 4,365.72	19.81	\$ 220.38	0.50%	\$ 1.11	\$ 221.49
ene-18	\$ 4,184.45	18.91	\$ 221.28	0.41%	\$ 0.90	\$ 222.19
feb-18	\$ 4,141.60	18.64	\$ 222.19	0.41%	\$ 0.91	\$ 223.10
mar-18	\$ 4,156.34	18.63	\$ 223.10	0.41%	\$ 0.91	\$ 224.01
abr-18	\$ 4,119.60	18.39	\$ 224.01	0.41%	\$ 0.91	\$ 224.93
may-18	\$ 4,406.40	19.59	\$ 224.93	0.41%	\$ 0.92	\$ 225.85
jun-18	\$ 4,584.80	20.3	\$ 225.85	0.41%	\$ 0.92	\$ 226.77
jul-18	\$ 4,311.04	19.01	\$ 226.78	0.41%	\$ 0.93	\$ 227.70
ago-18	\$ 4,294.55	18.86	\$ 227.71	0.41%	\$ 0.93	\$ 228.64
sep-18	\$ 4,348.72	19.02	\$ 228.64	0.41%	\$ 0.93	\$ 229.57
oct-18	\$ 4,405.57	19.19	\$ 229.58	0.41%	\$ 0.94	\$ 230.51
nov-18	\$ 4,670.27	20.26	\$ 230.52	0.41%	\$ 0.94	\$ 231.46
dic-18	\$ 4,654.68	20.11	\$ 231.46	0.41%	\$ 0.94	\$ 232.41
ene-19	\$ 4,450.59	19.17	\$ 232.16	0.30%	\$ 0.70	\$ 232.87
feb-19	\$ 4,480.42	19.24	\$ 232.87	0.30%	\$ 0.71	\$ 233.58
mar-19	\$ 4,496.37	19.25	\$ 233.58	0.30%	\$ 0.71	\$ 234.29
abr-19	\$ 4,449.12	18.99	\$ 234.29	0.30%	\$ 0.71	\$ 235.00
may-19	\$ 4,493.20	19.12	\$ 235.00	0.30%	\$ 0.71	\$ 235.71
jun-19	\$ 4,542.21	19.27	\$ 235.71	0.30%	\$ 0.71	\$ 236.43
jul-19	\$ 4,504.00	19.05	\$ 236.43	0.30%	\$ 0.72	\$ 237.15
ago-19	\$ 4,669.46	19.69	\$ 237.15	0.30%	\$ 0.72	\$ 237.87
sep-19	\$ 4,659.87	19.59	\$ 237.87	0.30%	\$ 0.72	\$ 238.59
oct-19	\$ 4,609.61	19.32	\$ 238.59	0.30%	\$ 0.72	\$ 239.32
nov-19	\$ 4,626.01	19.33	\$ 239.32	0.30%	\$ 0.73	\$ 240.04
dic-19	\$ 4,587.26	19.11	\$ 240.05	0.30%	\$ 0.73	\$ 240.77
ene-20	\$ 4,525.52	18.8	\$ 240.72	0.28%	\$ 0.67	\$ 241.39
feb-20	\$ 4,547.88	18.84	\$ 241.40	0.28%	\$ 0.68	\$ 242.07
mar-20	\$ 5,417.59	22.38	\$ 242.07	0.28%	\$ 0.68	\$ 242.75
abr-20	\$ 5,891.60	24.27	\$ 242.75	0.28%	\$ 0.68	\$ 243.43
may-20	\$ 5,701.23	23.42	\$ 243.43	0.28%	\$ 0.68	\$ 244.12
jun-20	\$ 5,443.82	22.3	\$ 244.12	0.28%	\$ 0.68	\$ 244.80
jul-20	\$ 5,483.59	22.4	\$ 244.80	0.28%	\$ 0.69	\$ 245.49
ago-20	\$ 5,452.34	22.21	\$ 245.49	0.28%	\$ 0.69	\$ 246.18
sep-20	\$ 5,337.18	21.68	\$ 246.18	0.28%	\$ 0.69	\$ 246.87
oct-20	\$ 5,250.95	21.27	\$ 246.87	0.28%	\$ 0.69	\$ 247.56
nov-20	\$ 5,045.36	20.38	\$ 247.56	0.28%	\$ 0.69	\$ 248.26
dic-20	\$ 4,957.74	19.97	\$ 248.26	0.28%	\$ 0.70	\$ 248.95
ene-21	\$ 4,968.89	19.92	\$ 249.44	0.47%	\$ 1.18	\$ 250.62
feb-21	\$ 5,090.31	20.31	\$ 250.63	0.47%	\$ 1.19	\$ 251.82
mar-21	\$ 5,227.88	20.76	\$ 251.82	0.47%	\$ 1.19	\$ 253.02
abr-21	\$ 5,065.55	20.02	\$ 253.02	0.47%	\$ 1.20	\$ 254.22
may-21	\$ 5,074.43	19.96	\$ 254.23	0.47%	\$ 1.21	\$ 255.44
jun-21	\$ 5,116.48	20.03	\$ 255.44	0.47%	\$ 1.21	\$ 256.65
jul-21	\$ 5,125.46	19.97	\$ 256.66	0.47%	\$ 1.22	\$ 257.87
ago-21	\$ 5,178.24	20.08	\$ 257.88	0.47%	\$ 1.22	\$ 259.10
sep-21	\$ 5,195.14	20.05	\$ 259.11	0.47%	\$ 1.23	\$ 260.34
oct-21	\$ 5,326.63	20.46	\$ 260.34	0.47%	\$ 1.23	\$ 261.58
nov-21	\$ 5,467.11	20.9	\$ 261.58	0.47%	\$ 1.24	\$ 262.82
dic-21	\$ 5,490.52	20.89	\$ 262.83	0.47%	\$ 1.25	\$ 264.08
ene-22	\$ 5,422.18	20.5	\$ 264.50	0.63%	\$ 1.67	\$ 266.16
feb-22	\$ 5,443.41	20.45	\$ 266.18	0.63%	\$ 1.68	\$ 267.87
mar-22	\$ 5,507.55	20.56	\$ 267.88	0.63%	\$ 1.70	\$ 269.57
abr-22	\$ 5,421.33	20.11	\$ 269.58	0.63%	\$ 1.71	\$ 271.29
may-22	\$ 5,434.16	20.03	\$ 271.30	0.63%	\$ 1.72	\$ 273.02
jun-22	\$ 5,466.05	20.02	\$ 273.03	0.63%	\$ 1.73	\$ 274.76
jul-22	\$ 5,646.49	20.55	\$ 274.77	0.63%	\$ 1.74	\$ 276.51
ago-22	\$ 5,563.56	20.12	\$ 276.52	0.63%	\$ 1.75	\$ 278.27
sep-22	\$ 5,585.09	20.07	\$ 278.28	0.63%	\$ 1.76	\$ 280.04
oct-22	\$ 5,595.46	19.98	\$ 280.05	0.63%	\$ 1.77	\$ 281.83
nov-22	\$ 5,487.37	19.47	\$ 281.84	0.63%	\$ 1.78	\$ 283.62

Mangueras

Fecha	Precio inicial (\$ mxn)	Aumento de inflación mensual	Aumento mensual	Precio
ene-15	\$ 12.07	0.23%	\$ 0.03	\$ 12.10
feb-15	\$ 12.10	0.23%	\$ 0.03	\$ 12.13
mar-15	\$ 12.13	0.23%	\$ 0.03	\$ 12.16
abr-15	\$ 12.16	0.23%	\$ 0.03	\$ 12.18
may-15	\$ 12.18	0.23%	\$ 0.03	\$ 12.21
jun-15	\$ 12.21	0.23%	\$ 0.03	\$ 12.24
jul-15	\$ 12.24	0.23%	\$ 0.03	\$ 12.27
ago-15	\$ 12.27	0.23%	\$ 0.03	\$ 12.29
sep-15	\$ 12.29	0.23%	\$ 0.03	\$ 12.32
oct-15	\$ 12.32	0.23%	\$ 0.03	\$ 12.35
nov-15	\$ 12.35	0.23%	\$ 0.03	\$ 12.38
dic-15	\$ 12.38	0.23%	\$ 0.03	\$ 12.41
ene-16	\$ 12.41	0.25%	\$ 0.03	\$ 12.44
feb-16	\$ 12.44	0.25%	\$ 0.03	\$ 12.47
mar-16	\$ 12.47	0.25%	\$ 0.03	\$ 12.50
abr-16	\$ 12.50	0.25%	\$ 0.03	\$ 12.53
may-16	\$ 12.53	0.25%	\$ 0.03	\$ 12.57
jun-16	\$ 12.57	0.25%	\$ 0.03	\$ 12.60
jul-16	\$ 12.60	0.25%	\$ 0.03	\$ 12.63
ago-16	\$ 12.63	0.25%	\$ 0.03	\$ 12.66
sep-16	\$ 12.66	0.25%	\$ 0.03	\$ 12.69
oct-16	\$ 12.69	0.25%	\$ 0.03	\$ 12.72
nov-16	\$ 12.72	0.25%	\$ 0.03	\$ 12.76
dic-16	\$ 12.76	0.25%	\$ 0.03	\$ 12.79
ene-17	\$ 12.82	0.50%	\$ 0.06	\$ 12.88
feb-17	\$ 12.88	0.50%	\$ 0.06	\$ 12.95
mar-17	\$ 12.95	0.50%	\$ 0.07	\$ 13.01
abr-17	\$ 13.02	0.50%	\$ 0.07	\$ 13.08
may-17	\$ 13.08	0.50%	\$ 0.07	\$ 13.15
jun-17	\$ 13.15	0.50%	\$ 0.07	\$ 13.21
jul-17	\$ 13.21	0.50%	\$ 0.07	\$ 13.28
ago-17	\$ 13.28	0.50%	\$ 0.07	\$ 13.35
sep-17	\$ 13.35	0.50%	\$ 0.07	\$ 13.41
oct-17	\$ 13.42	0.50%	\$ 0.07	\$ 13.48
nov-17	\$ 13.48	0.50%	\$ 0.07	\$ 13.55
dic-17	\$ 13.55	0.50%	\$ 0.07	\$ 13.62
ene-18	\$ 13.61	0.41%	\$ 0.06	\$ 13.66
feb-18	\$ 13.66	0.41%	\$ 0.06	\$ 13.72
mar-18	\$ 13.72	0.41%	\$ 0.06	\$ 13.77
abr-18	\$ 13.77	0.41%	\$ 0.06	\$ 13.83
may-18	\$ 13.83	0.41%	\$ 0.06	\$ 13.89
jun-18	\$ 13.89	0.41%	\$ 0.06	\$ 13.94
jul-18	\$ 13.94	0.41%	\$ 0.06	\$ 14.00
ago-18	\$ 14.00	0.41%	\$ 0.06	\$ 14.06
sep-18	\$ 14.06	0.41%	\$ 0.06	\$ 14.12
oct-18	\$ 14.12	0.41%	\$ 0.06	\$ 14.17
nov-18	\$ 14.17	0.41%	\$ 0.06	\$ 14.23
dic-18	\$ 14.23	0.41%	\$ 0.06	\$ 14.29
ene-19	\$ 14.28	0.30%	\$ 0.04	\$ 14.32
feb-19	\$ 14.32	0.30%	\$ 0.04	\$ 14.36
mar-19	\$ 14.36	0.30%	\$ 0.04	\$ 14.41
abr-19	\$ 14.41	0.30%	\$ 0.04	\$ 14.45
may-19	\$ 14.45	0.30%	\$ 0.04	\$ 14.49
jun-19	\$ 14.49	0.30%	\$ 0.04	\$ 14.54
jul-19	\$ 14.54	0.30%	\$ 0.04	\$ 14.58
ago-19	\$ 14.58	0.30%	\$ 0.04	\$ 14.63
sep-19	\$ 14.63	0.30%	\$ 0.04	\$ 14.67
oct-19	\$ 14.67	0.30%	\$ 0.04	\$ 14.72
nov-19	\$ 14.72	0.30%	\$ 0.04	\$ 14.76
dic-19	\$ 14.76	0.30%	\$ 0.04	\$ 14.80
ene-20	\$ 14.80	0.28%	\$ 0.04	\$ 14.84
feb-20	\$ 14.84	0.28%	\$ 0.04	\$ 14.88
mar-20	\$ 14.88	0.28%	\$ 0.04	\$ 14.93
abr-20	\$ 14.93	0.28%	\$ 0.04	\$ 14.97
may-20	\$ 14.97	0.28%	\$ 0.04	\$ 15.01
jun-20	\$ 15.01	0.28%	\$ 0.04	\$ 15.05
jul-20	\$ 15.05	0.28%	\$ 0.04	\$ 15.09
ago-20	\$ 15.10	0.28%	\$ 0.04	\$ 15.14
sep-20	\$ 15.14	0.28%	\$ 0.04	\$ 15.18
oct-20	\$ 15.18	0.28%	\$ 0.04	\$ 15.22
nov-20	\$ 15.22	0.28%	\$ 0.04	\$ 15.27
dic-20	\$ 15.27	0.28%	\$ 0.04	\$ 15.31
ene-21	\$ 15.34	0.47%	\$ 0.07	\$ 15.41
feb-21	\$ 15.41	0.47%	\$ 0.07	\$ 15.48
mar-21	\$ 15.48	0.47%	\$ 0.07	\$ 15.56
abr-21	\$ 15.56	0.47%	\$ 0.07	\$ 15.63
may-21	\$ 15.63	0.47%	\$ 0.07	\$ 15.71
jun-21	\$ 15.71	0.47%	\$ 0.07	\$ 15.78
jul-21	\$ 15.78	0.47%	\$ 0.07	\$ 15.86
ago-21	\$ 15.86	0.47%	\$ 0.08	\$ 15.93
sep-21	\$ 15.93	0.47%	\$ 0.08	\$ 16.01
oct-21	\$ 16.01	0.47%	\$ 0.08	\$ 16.08
nov-21	\$ 16.08	0.47%	\$ 0.08	\$ 16.16
dic-21	\$ 16.16	0.47%	\$ 0.08	\$ 16.24
ene-22	\$ 16.26	0.63%	\$ 0.10	\$ 16.37
feb-22	\$ 16.37	0.63%	\$ 0.10	\$ 16.47
mar-22	\$ 16.47	0.63%	\$ 0.10	\$ 16.58
abr-22	\$ 16.58	0.63%	\$ 0.10	\$ 16.68
may-22	\$ 16.68	0.63%	\$ 0.11	\$ 16.79
jun-22	\$ 16.79	0.63%	\$ 0.11	\$ 16.89
jul-22	\$ 16.90	0.63%	\$ 0.11	\$ 17.00
ago-22	\$ 17.00	0.63%	\$ 0.11	\$ 17.11
sep-22	\$ 17.11	0.63%	\$ 0.11	\$ 17.22
oct-22	\$ 17.22	0.63%	\$ 0.11	\$ 17.33
nov-22	\$ 17.33	0.63%	\$ 0.11	\$ 17.44

Divisas

Fecha	Euro	Dólar
ene-15	17.07	14.69
feb-15	16.9477	14.92
mar-15	16.5178	15.23
abr-15	16.42	15.23
may-15	17.05	15.26
jun-15	17.36	15.48
jul-15	17.53	15.94
ago-15	18.42	16.54
sep-15	18.9295	16.86
oct-15	18.61	16.56
nov-15	17.8376	16.63
dic-15	18.5607	17.07
ene-16	19.6391	18.07
feb-16	20.5121	18.47
mar-16	19.59	17.6
abr-16	19.82	17.49
may-16	20.95	18.15
jun-16	20.58	18.65
jul-16	20.9516	18.6
ago-16	20.5868	18.47
sep-16	21.5163	19.19
oct-16	20.8361	18.89
nov-16	21.7294	20.12
dic-16	21.6295	20.52
ene-17	22.7258	21.39
feb-17	21.5846	20.29
mar-17	20.6119	19.3
abr-17	20.146	18.79
may-17	20.7369	18.76
jun-17	20.3571	18.13
jul-17	20.515	17.83
ago-17	21.0251	17.81
sep-17	21.2584	17.84
oct-17	22.1254	18.82
nov-17	22.2038	18.92
dic-17	22.7121	19.81
ene-18	23.0445	18.91
feb-18	23.0186	18.64
mar-18	22.9846	18.63
abr-18	22.5738	18.39
may-18	23.1442	19.59
jun-18	23.7165	20.3
jul-18	22.2046	19.01
ago-18	21.7719	18.86
sep-18	22.1715	19.02
oct-18	22.0347	19.19
nov-18	23.011	20.26
dic-18	22.9061	20.11
ene-19	21.8866	19.17
feb-19	21.7887	19.24
mar-19	21.7551	19.25
abr-19	21.3397	18.99
may-19	21.3816	19.12
jun-19	21.7643	19.27
jul-19	21.3777	19.05
ago-19	21.9003	19.69
sep-19	21.557	19.59
oct-19	21.3553	19.32
nov-19	21.3676	19.33
dic-19	21.3118	19.11
ene-20	20.87	18.8
feb-20	20.53	18.84
mar-20	24.71	22.38
abr-20	26.36	24.27
may-20	25.52	23.42
jun-20	25.09	22.3
jul-20	23	22.4
ago-20	26.27	22.21
sep-20	25.56	21.68
oct-20	25.04	21.27
nov-20	24.15	20.38
dic-20	24.82	19.97
ene-21	24.25	19.92
feb-21	24.57	20.31
mar-21	24.7	20.76
abr-21	23.97	20.02
may-21	24.25	19.96
jun-21	24.13	20.03
jul-21	23.61	19.97
ago-21	23.63	20.08
sep-21	23.6	20.05
oct-21	23.74	20.46
nov-21	23.83	20.9
dic-21	23.62	20.89
ene-22	23.19	20.5
feb-22	23.18	20.45
mar-22	22.65	20.56
abr-22	21.75	20.11
may-22	21.19	20.03
jun-22	20.97	20.02
jul-22	19.88	20.55
ago-22	20.38	20.12
sep-22	19.88	20.07
oct-22	19.64	19.98
nov-22	19.81	19.47



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Khalife, E., Shojaei, T. R., Dadak, A. (2018). Exergoeconomic analysis of a DI diesel engine fueled with diesel/biodiesel (B5) emulsions containing aqueous nano cerium oxide. *Energy*, 149, 967-978. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.082>

Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Soltanian, S., Ghanavati, H., Dadak, A. (2019). Comprehensive exergoeconomic analysis of a municipal solid waste digestion plant equipped with a biogas genset. *Waste Management*, 87, 485–498. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.029>

Álvarez Benítez, O. L., Parrales Bahena, A., Huicochea Rodríguez, A., Hernández Pérez, J. A., Parrales Bahena, A. (2021). Optimización de sistemas mediante análisis exergonómico. *Inventio*, 17 (43), 2448–9026. DOI: <https://doi.org/10.30973/inventio/2021.17.43/1>

Baghernejad, A., Yaghoubi, M. (2011). Exergoeconomic analysis and optimization of an Integrated Solar Combined Cycle System (ISCCS) using genetic algorithm. *Energy Conversion and Management*, 52 (5), 2193–2203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.12.019>

Bruice, P. Y. (2015). *Fundamentos de Química Orgánica*. Tercera Edición. Estados Unidos: Pearson.

Calise, F., D'Accadia, M. D., Macaluso, A., Piacentino, A., Vanoli, L. (2016). Exergetic and exergoeconomic analysis of a novel hybrid solar–geothermal polygeneration system producing energy and water. *Energy Conversion and Management*, 115, 200–220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.029>

Choukri, K., Naddami, A., Hayani, S. (2017). Renewable energy in emergent countries: lessons from energy transition in Morocco. *Energy*,

Sustainability and Society, 7, 25. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13705-017-0131-2>

Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). (2023). *Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvia*. www.conagua.gob.mx. Recuperado el 22 de Abril de 2023, de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>

Destek, M. A., Sarkodie, S. A. (2019). Investigation of environmental Kuznets curve for ecological footprint: The role of energy and financial development. *Science of The Total Environment*, 650 (Part 2), 2483–2489. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.017>

Díaz Mata, A., Aguilera Gómez, V. M. (2000). *Matemáticas financieras*. Tercera Edición. México: McGraw- Hill.

Dincer, I., Rosen, M. A. (2013). *Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development*. Segunda Edición. Canada: Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2010-0-68369-6>

El-Sayed, Y. M., Evans, R. B. (1970). Thermoconomics and the design of heat systems. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 92 (1), 27–35. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.3445296>

Energy Institute. (2024). *Statistical Review of World Energy 2024*. Recuperado el 17 de Febrero de 2024, de <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption>

Fals, M. M., Loret de Mola, M. A., Alonso, D. (2010). Análisis exergoeconómico de la planta de cogeneración de la empresa azucarera “Carlos Manuel de Céspedes”. *Centro Azúcar Journal*, 37 (3), 11-17.

Farshi, L. G., Mahmoudi, S. M. S., Rosen, M. A., Yari, M., Amidpour, M. (2013). Exergoeconomic analysis of double effect absorption refrigeration

systems. *Energy Conversion and Management*, 65, 13–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.07.019>

Fazelpour, F., Morosuk, T. (2014). Exergoeconomic analysis of carbon dioxide transcritical refrigeration machines. *International Journal of Refrigeration*, 38, 128–139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.09.016>

Frangopoulos, C. A. (1987). Thermo-economic functional analysis and optimization. *Energy*, 12 (7), 563–571. DOI: [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(87\)90097-1](https://doi.org/10.1016/0360-5442(87)90097-1)

Gaggioli, R. A., Wepfer, W. J. (1980). Exergy economics: I. Cost accounting applications. *Energy*, 5 (8–9), 823–837. DOI: [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(80\)90099-7](https://doi.org/10.1016/0360-5442(80)90099-7)

Gislason, E. A., Craig, N. C. (2002). First Law of Thermodynamics; Irreversible and Reversible Processes. *Journal of Chemical Education*, 79 (2), 193. DOI: <https://doi.org/10.1021/ed079p193>

Grecos, A. P., Prigogine, I. (1982). On the Problem of Irreversibility in Theoretical Physics. *Studies in logic and the foundations of mathematics*, 104, 429–439. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0049-237x\(09\)70211-3](https://doi.org/10.1016/s0049-237x(09)70211-3)

Harrod, R. F. (1927). Wealth, Virtual Wealth and Debt: The Solution of the Economic Paradox. *The Economic Journal*, 37 (146), 271-273. DOI: <https://doi.org/10.2307/2224365>

Jaramillo-Salgado, O. A. (2008). *Notas del curso Termodinámica para Ingeniería*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de investigación en energía.

Jong No, J., Kleiner, B. H. (1997). How to implement activity-based costing. *Logistics Information Management*, 10 (2), 68–72. DOI: <https://doi.org/10.1108/09576059710815725>

Lazzaretto, A., & Tsatsaronis, G. (2006). SPECO: A systematic and general methodology for calculating efficiencies and costs in thermal systems. *Energy*, 31 (8–9), 1257–1289. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.03.011>

Lozano, M. A., Valero, A. (1993). Theory of the exergetic cost. *Energy*, 18 (9), 939–960. DOI: [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(93\)90006-y](https://doi.org/10.1016/0360-5442(93)90006-y)

McMurry, J. (2012). *Química orgánica*. Octava Edición. México: Cengage Learning.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2020). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2019. UN-iLibrary. Recuperado el 24 de mayo de 2020, de <https://doi.org/10.18356/e8a6070e-es>

Ortega-Roldán, W. (2021). Depreciación: Disminución del valor de un bien. *Revista Científica Saberes 5.0*, 1 (1), 54-60. Recuperado de: <https://revistas.saberescincopuntocero.com/index.php/rcs50/article/view/138>

Osterwalder, A., Pigneur, Y. (2013). *Generación de modelos de negocio*. España: Grupo Planeta. Recuperado de: http://books.google.ie/books?id=NBSaoWaxeRsC&printsec=frontcover&dq=Generaci%C3%B3n+de+modelos+de+negocio.&hl=&cd=1&source=gbs_api

Pospisil, J., Balas, M., Baxa, M., Fortelny, Z. (2009). Working characteristics of small-scale absorption unit with two-cylinder design. *Wseas Transactions on Heat and Mass Transfer*, 4 (3), 77–86.

Smith, I. E. (1990). Bombas de calor por absorción. *Seminario sobre conservación de energía y aplicaciones industriales y comerciales de las bombas de calor*.

Szargut, J. (2005). *Exergy Method: Technical and Ecological Applications*. Gran Bretaña: WIT Press. Recuperado de

http://books.google.ie/books?id=ZL2BTtkR35QC&printsec=frontcover&dq=Exergy+Method:+Technical+and+Ecological+Applications&hl=&cd=1&source=gbs_api

Tsatsaronis, G., Lin, L., Pisa, J. (1993). Exergy costing in Exergoeconomics. *Journal of Energy Resources Technology*, 115 (1), 9–16. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.2905974>

Tsatsaronis, G., Pisa, J. (1994). Exergoeconomic evaluation and optimization of energy systems — application to the CGAM problem. *Energy*, 19 (3), 287–321. DOI: [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(94\)90113-9](https://doi.org/10.1016/0360-5442(94)90113-9)

Tsatsaronis, G. (2007). Definitions and nomenclature in exergy analysis and exergoeconomics. *Energy*, 32 (4), 249–253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.07.002>

Uddin, G. A., Salahuddin, M., Alam, K., Gow, J. (2017). Ecological footprint and real income: Panel data evidence from the 27 highest emitting countries. *Ecological Indicators*, 77, 166–175. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.003>

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2021). What is the Kyoto Protocol? United Nations Climate Change. Recuperado el 28 de Mayo de 2021 de https://unfccc.int/kyoto_protocol

Valero, A., Usón, S., Torres, C., Valero, A., Agudelo, A., Costa, J. (2013). Thermo-economic tools for the analysis of eco-industrial parks. *Energy*, 62, 62-72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.07.014>

Velasco Callau, C., Martínez Gracia, A., Gómez Martín, T. (2011). *Termodinámica Técnica II. Termodinámica aplicada a instalaciones térmicas*. España: Prensas de la Universidad de Zaragoza.

Von Spakovsky, M. R., Evans, R. B. (1993). Engineering Functional Analysis—Part I. *Journal of Energy Resources Technology*, 115 (2), 86–92. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.2905985>

Warren, C. S., Jones, J. P., Tayler, W. B. (2020). *Financial and Managerial Accounting*. Decimoquinta edición. India: Cengage Learning, Inc.

Yildirim, D., Ozgener, L. (2012). Thermodynamics and exergoeconomic analysis of geothermal power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (8), 6438–6454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.024>

Yildiz, T., Arslan, Ü., Çeliköz, Y. S. (2022). The relationship between human capital and environmental destruction: the case of European countries. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*, 8 (1), 187–203. DOI: <https://doi.org/10.51599/are.2022.08.01.10>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS

JEFATURA DE POSGRADO EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Cuernavaca, Morelos, 28 de noviembre de 2025.

DR. ARTURO MOLINA OCAMPO
COORDINADOR DEL POSGRADO
EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
P R E S E N T E

Atendiendo a la solicitud para emitir DICTAMEN sobre la revisión de la TESIS titulada: **DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA EXERGONOMICA GENERALIZADA PARA SISTEMAS ENERGÉTICOS** que presenta la alumna **OFIR LAILANI ALVAREZ BENITEZ**, para obtener el título de **DOCTORADO EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**.

Nos permitimos informarle que nuestro voto es **APROBATORIO**.

Atentamente
Por una humanidad culta

DRA. SUSANA SILVA MARTÍNEZ

DR. ALBERTO ARMANDO ÁLVAREZ GALLEGOS

DR. JUAN CARLOS GARCÍA CASTREJÓN

DR. JOSÉ ALFREDO HERNÁNDEZ PÉREZ

DR. ARMANDO HUICOCHA RODRÍGUEZ

DR. JONATHAN IBARRA BAHENA

DRA. ARIANNA PARRALES BAHENA

Se adiciona efirma UAEM



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, Edificio 65,
Tel. 777 329 70 00 Ext. 6208 / ciicap.posgrado@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

JONATHAN IBARRA BAHENA | Fecha:2025-12-01 14:15:22 | FIRMANTE

FMTLg11TnNnlqFQ6STGJgoohG3sGQqwHLDWzMzoUUtggDr9oEAGzzMmVaZkH9um3NbWtNTDsOfaCC7eLjCsXo5cHC3/wG26Qq4BAsVDcHc88c+zlrk3JFuu2dsnufsL7Xc3wZxOOCK709FUbuQ/0ZuSY3jzXGOnAFKNw2fUfU5fcYFhKqjalFQStcomHvE6ACW8y5wj1A9u6S1M5/uoid2nOhOWVmxKQ/Evp9BYbCY384Si/rpqcDY/YdSpna8KSXPBqQrpOE+QyriLsnJKYaNIhK0xJaZ+29i+CZmrVdi2Z7vzAih6lflkljhpO/Q8qe+lrJoAaBX7Bg5PS1cVXgYQ==

ALBERTO ARMANDO ALVAREZ GALLEGOS | Fecha:2025-12-01 20:22:26 | FIRMANTE

MRhtG7ZuH0lbyOeQru5LJF1dVOC+cd5Y1ope3suU+gGcg1o3YKt66N+j7bqEPDlx3xwwLG+dXWbzVy+woc+9ffsx2onEzB10Cf7UYIBGTYYQy0Q4mKjHA9LW/vNnah873RyqxS33NoxtHJ/BCyb/EQ6WzNAq/F9rt2xJXjgCHPoam8ZMfefL.Bif.Jc5r9PJ58HLKLR4SDZY7U2vOdwgOhr7xT6oCRZr2PavtBB2kjgdnsD8plE8VVXzExsSM2yNo29iEQEIPBziqQ1IslHqY4eSMnNIMyxkDR+wf7203v/jQh3AWttNik75uCF95h1eKCOQK/mDwC2oXGt1W1lpsnQ==

ARIANNA PARRALES BAHENA | Fecha:2025-12-03 11:57:42 | FIRMANTE

vpG1mOQtWpENTGzziNV65i5rjAsAX4d4aeGsYh1F3T4Au75Wsk4NDpVomUDFWZ6y9ZNLFSq4UACJQehy5MflLCuBfWgJ9+U2OmXe40zhqu5R2nFY7O11ZG0PNnBN4QzNIRgVdGixBfAMsXBdl5S1gZ4LNqHriOgdHu9odg8j0qwnTx0mI86u1Wux4Ed+VnvYt1jQcpdaC3Gg1EuEhif+ii+I5iXwkZF5hvQgbf38lYx5zahAiRMGuRAancm6FHVbz5PNnbKbsqNXTomoQqaS+IzU0pZwxHOakwJU2wPnbXgvUHvsY0MxfgEgLOngYLwH9uOaZ6Yxs8CLCPepA==

JUAN CARLOS GARCIA CASTREJON | Fecha:2025-12-03 14:07:29 | FIRMANTE

jEGUb83MtYnh4emU1j7vuCRAOkF8dS471onVqXV1QoutDERIGS7ZY4P4CDzld/9jiYoc2OafYyWktUOO48nMdDQhyhutPHx/3XaWy0Un1eDozCtWyzwA55z3oBgrLEMlpMMrPLkvOfQTIGjSum6lmMdpOkGhtQ5hgqs7Qxe50LYa2jA/x6XzGg4tk8H12wVYPRtli2XITw9ODIz5miKWOgz1/mV3DlqHiA8l5yBZ2BSxZUmyTx+awy1TGBGdyGPi7V9/MFHU4K0clnREQmN/RoiSfP1i5w4sH6WgYHeb7/28UwV/ZjW1zUi+sf1hCKhyNeCHZ1Hriqxq/56eACAA==

ARMANDO HUICOCHEA RODRIGUEZ | Fecha:2025-12-04 15:16:34 | FIRMANTE

ENQtbkfmX4cfsWAeZrVlWITEB5Wdnqooy8D7CJlscNEny4IGL6zoM4PFhWQbkgNPXehRsr4t0tZ+0X7w8ku7QodMEvgEpF/ZGpsuajPB/KaCxWdWXKEE3thKsmiD9ql9JEJjKkmVczifTGcceWTbuSvZ5UC4dLATmtVhm+cczWduOloEqgoH0ppj9gT6A2aY9A0M2W/7McmWle9/x0JFeGwlEsiFXWkjDpZGp++4rZqlHCE0ddhUA8ZXzjcPVzDOFcDpF5nAWil+3xjNhoTZ5gPvI916iQgVljkvtB6b/eW/fhkcmAaiOCd8aHVq4hwylrRG4SP5JqRcV+70tz2obw==

JOSE ALFREDO HERNANDEZ PEREZ | Fecha:2025-12-05 08:12:27 | FIRMANTE

TItRr2bkx3EegQP+Xlrg0Zi5cpMtaAXVWjSuZtEwflgER9KRerxjAEbaCTS1+rs34X7V1UP105ITzQvgVNU5xYx1P/dOqnBy5CtIwUWdqJJPW/j3ZvLpC08UUUgem1uN48JBamdd07mfWeyal1+KzFX89pvdvNX2nHzlUcd+pAgTvYHYTUqd9+CXyBDUzOJP2mc1HhPYRNMN048alg5Qx1A3xkm9P2XQRSzVWWqS41/ZCzzuxM7Y4dDTtag8gSqHNCQGTmftA7JA bEWw3LQciawb3r3UFnJ7pdcALT6limb8q6QPkPJ2ooZ5NngxEOlR/ITMudcQqdTF2zQRpD3IQ==

SUSANA SILVA MARTINEZ | Fecha:2025-12-06 06:56:06 | FIRMANTE

sOw/wlyfEAZ1jkKdGOUdNChBYciLjCaB47Le2fB3w+D0EEZUETVdlJGdXSmzhIQxMS4mVgJb0BRokpGOF8HhAODFHJBB29ShOmiBTRnre0bilLnVCOplKH612z7RcKgJHIHkkGJI7QUmWPL50/2CqnrpYV54tDc5RIDDIk9sEWhLhObw0rK258xUYIk4SjXq/88SL+RUmM/cl8nt0JxJQ7QUhPhnzvasMkWUIG4kYB+7/821ojUvhhg+blrfikuBgMitZG7vCVqgz+5PNU8M9qkPCIVx71LGHrN9t9GHTLJZZn6G+JdhM74L5H9ZjJwr16B6r9zHS1Fk3nA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



gcuN8Gb6U

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/Gmtl8Kctk947pW8YJtOhCEQjS8o6yilI>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029