



Universidad Autónoma de Yucatán
Facultad de Ingeniería Química

**Proceso metodológico para la selección de
medidas de eficiencia energética**

**TRABAJO
TERMINAL**

PRESENTADA POR:
JOSÉ RODRIGO PRECIADO SOLÍS

EN OPCIÓN AL TÍTULO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA DE
OPERACIONES ESTRATEGICAS**

ASESORES

DR. LUÍS FERNANDO MORALES MENDOZA

Mérida, Yucatán, México
Marzo 2019

Mérida, Yuc. a 25 de marzo de 2019.

Dr. Julio César Sacramento Rivero
Jefe de la Unidad de Posgrado e Investigación
Facultad de Ingeniería Química.
Presente.

Por este medio informo a Ud. que el Trabajo Terminal denominado “Proceso metodológico para la selección de medidas de eficiencia energética” elaborada por el C. José Rodrigo Preciado Solís para obtener el grado de Maestro en Ingeniería de Operaciones Estratégicas, ha sido realizado bajo mi asesoría y dirección, y considero que cumple con las características propias de un trabajo de titulación.

Sin otro particular, quedo a su disposición para cualquier aclaración adicional.

Atentamente

Dr. Luis Fernando Morales Mendoza

Mérida, Yuc. a 25 de marzo de 2019.

Mtro. Roger Agustín Bargas Interián
Secretario Administrativo
Facultad de Ingeniería Química.
Presente.

Por este medio informo a Ud. que el Trabajo Terminal denominado “Proceso metodológico para la selección de medidas de eficiencia energética” elaborada por el C. José Rodrigo Preciado Solís para obtener el grado de Maestro en Ingeniería de Operaciones Estratégicas, ha sido revisado y corregido, por lo que considero que cumple con los requisitos necesarios para ser presentado en examen de grado, autorizando su encuadernación.

Sin otro particular, quedo a su disposición para cualquier aclaración adicional.

Atentamente

Dr. Eduardo Castañeda Pérez

Profesor de Seminario de Grado

Mérida, Yuc. a 25 de marzo de 2019.

Mtra. María Dalmira Rodríguez Martín
Director de la Facultad de Ingeniería Química.
Presente.

Por este medio le solicito me sea concedido presentar Examen en opción al grado de Maestro en Ingeniería de Operaciones Estratégicas, habiendo entregado para tal efecto la documentación correspondiente en la Secretaría Administrativa, de acuerdo con el artículo 54 del Reglamento de Inscripciones y Exámenes de la UADY y del Manual de Procedimientos de Titulación de esta Facultad.

Atentamente

José Rodrigo Preciado Solís

CARTA DE AUTORIZACIÓN

El presente trabajo denominado “Proceso metodológico para la selección de medidas de eficiencia energética” elaborado por el C. José Rodrigo Preciado Solís, ha sido autorizado para ser presentado en Examen en opción al Grado de MAESTRO EN INGENIERÍA DE OPERACIONES ESTRATÉGICAS.

LOS REVISORES

DR. EDUARDO CASTAÑEDA PÉREZ

Profesor de Seminario de Grado

MTRA. PAULINA MARTÍNEZ ISIDRO

Tutor

EL DIRECTOR

EL AUTOR

DR. L. FERNANDO MORALES MENDOZA

JOSÉ RODRIGO PRECIADO SOLÍS

Aunque un trabajo hubiere servido para el Examen de Grado y hubiere sido aprobado por el Sínodo, sólo su autor es responsable de las doctrinas en él emitidas.

Artículo 90 del Reglamento Interior de la
Facultad de Ingeniería Química de la
Universidad Autónoma de Yucatán

DEDICATORIAS

El presente trabajo terminal es dedicado a cada una de las personas que han estado en cada uno de los momentos de mi vida. Principalmente a Dios y mi familia, ya que sin ellos no pudiese estar cumpliendo una meta más en mi vida.

De la misma forma se lo dedico a mis compañeros y amigos quienes han contribuido a mi crecimiento y quienes han brindado su mano en momentos de necesidad.

A mi novia, por comprender los sacrificios que estoy realizando para traer un mejor futuro a nuestra próxima familia y por brindarme su apoyo en todo momento desde que iniciamos esta aventura hasta el día de hoy que lo estamos terminando con la conclusión de este trabajo terminal.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por esta segunda oportunidad en la vida y por cada uno de los momentos que he vivido a partir de ella.

A mis padres por estar siempre a mi lado, apoyándome en cada una de las aventuras que he emprendido en mi vida y sobre todo por el amor que me tienen, porque si no fuese por ellos no tuviese el impulso de seguir adelante.

A mi familia, quienes han participado de distintas maneras en el recorrido de esta aventura de los estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma de Yucatán, por ser parte del crecimiento tanto intelectual como personal.

Al Dr. Fernando Morales, por el apoyo que me ha brindado en la construcción de este trabajo terminal. De igual forma, a cada uno de los profesores de la maestría que han propiciado un crecimiento en mi persona.

Agradezco a la empresa manufacturera de vidrio por el apoyo con la información compartida. Así como al personal de la empresa que brindo la información después de muchas molestias de mi parte.

Por último, agradezco todo el apoyo que me ha brindado mi novia, por los desvelos, correcciones y comentarios, así como los sacrificios que hemos realizado para poder concluir con mis estudios. Permitiendo tener un crecimiento, que al final, representará una oportunidad de mejora para nuestra futura familia.

Gracias por todo su apoyo.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Antecedentes	7
II. ESTADO DEL ARTE	10
2.1 Marco conceptual	10
2.1.1 Eficiencia Energética	10
2.1.2 Barreras y factores de impulso de la Eficiencia Energética	10
2.1.3 Áreas de acción para lograr la Eficiencia Energética	12
2.1.4 Eficiencia Energética en México	14
2.1.5 Indicadores de proyectos de Eficiencia Energética	16
2.1.6 Toma de decisión multicriterio	19
2.1.7 Métodos de toma de decisión multicriterio	20
2.2 Marco contextual	27
2.2.1 Identificación de planes de eficiencia energética	27
2.2.2 Determinación de una metodología para la toma de decisión multicriterio	30
2.2.3 Selección de planes de eficiencia energética con métodos de toma de decisión multicriterio	31
III. OBJETIVOS	33
3.1 Planteamiento del problema	33
3.2 Justificación	33
3.3 Objetivo general	34
3.4 Objetivos específicos	34
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	35
4.1 Tipo de investigación	35
4.2 Enfoque	35

4.3	Diseño.....	35
4.4	Objeto de estudio.....	35
4.5	Proceso metodológico	35
4.5.1	Análisis fuentes y consumos de energía.....	37
4.5.2	Identificación de áreas de consumo de energía significativa	37
4.5.3	Registro de las oportunidades de mejora.....	38
4.5.4	Definición de criterios de toma de decisión	38
4.5.5	Selección de la herramienta de toma de decisión	38
4.5.6	Evaluación de las alternativas de acuerdo a los criterios de decisión.....	41
V.	RESULTADOS.....	43
5.1	Caso de estudio: Selección de medidas de eficiencia energética para una empresa de manufactura de vidrio	43
5.1.1	Análisis energético.....	44
5.1.2	Identificación de áreas	46
5.1.3	Medidas.....	47
5.1.4	Criterios	48
5.1.5	Herramienta de selección	49
5.1.6	AHP-TOPSIS	50
VI.	DISCUSIONES.....	58
VII.	CONCLUSIONES.....	60
VIII.	RECOMENDACIONES	61
IX.	TRABAJOS PRÓXIMOS.....	62
X.	REFERENCIAS.....	63
XI.	ANEXOS	68
11.1	Anexo I: Casos de éxito.....	68

11.1.1	Burndy Products México S. de R.L. de C.V.: Proyecto de instalación de paneles fotovoltaicos y cambio del alumbrado	68
11.1.2	Gelita México S. de R.L. de C.V.: Recuperación de calor de desecho del evaporado	69
11.1.3	Industrias Habers S.A. de C.V.: Implementación de sistemas eficientes en aire comprimido	70
11.1.4	Industrias Habers S.A. de C.V.: Implementación de sistemas eficientes en iluminación	71
11.1.5	Medidores Delaunet S.A.P.I. de C.V.: Horno de Inducción	72
11.1.6	Reciclagua Ambiental S.A. de C.V.: Reconfiguración del sistema de distribución de aire soplado	73
11.1.7	Safran Landing System México S.A. de C.V.: Adaptación del control operacional para mejorar el aprovechamiento	75
11.1.8	Specialities Pet Food S.A. de C.V.: Comunicación con cliente y cambios a proceso	77
11.2	ANEXO II: Encuesta de comparación por pares	78

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2-1 Barreras para el uso eficiente de la energía.	12
Cuadro 2-2 Programas de ahorro y eficiencia energética en México.....	15
Cuadro 2-3 Criterios de evaluación de proyectos de energía sustentable.	16
Cuadro 2-4 Índice de inconsistencia al azar promedio (RI)	23
Cuadro 2-5 Tabla de calificación de importancia de criterios y alternativas.....	24
Cuadro 5-1 Clasificación de los procesos de producción de la empresa.	46
Cuadro 5-2 Demanda y consumo de la energía eléctrica por área de producción.	47
Cuadro 5-3 Medidas de Eficiencia Energética.....	48
Cuadro 5-4 Criterios de evaluación de las MEE.	49
Cuadro 5-5 Matriz de comparación de criterios.	53
Cuadro 5-6 Matriz normalizada y vector prioridad.	53
Cuadro 5-7 Ponderación de los criterios de decisión.....	54
Cuadro 5-8 Matriz de decisión.....	55
Cuadro 5-9 Matriz de decisión normalizada con la ponderación de los criterios...55	
Cuadro 5-10 Matriz de decisión normalizada ponderada.....	56
Cuadro 5-11 Soluciones ideales positivos y negativos.	56
Cuadro 5-12 Distancias de las soluciones ideales positivas y negativas de cada alternativa.	57
Cuadro 5-13 Índice de proximidad relativa y clasificación de las alternativas.	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Producción de petróleo en México 2005-2017.	7
Figura 1-2 Precio de las tarifas comercial e industrial en México 2005-2017.	8
Figura 1-3 Proceso termoeléctrico de generación de energía eléctrica.	9
Figura 2-1 Factores de impulso del uso eficiente de energía.	11
Figura 2-2 Proceso de toma de decisión.	20
Figura 2-3 Diagrama de estructura jerárquica para el método AHP.	21
Figura 2-4 Metodología AHP-TOPSIS.....	27
Figura 2-5 Etapas para el diseño de un SGE en el contexto de mejora continua.	28
Figura 2-6 Esquema de trabajo metodología EED	29
Figura 4-1 Proceso metodológico propuesto.	36
Figura 4-2 Etapas de la planificación energética según la norma ISO 50001:2011.	37
Figura 4-3 Metodología AHP-TOPSIS.....	42
Figura 5-1 Consumo (kWh) facturado de marzo a agosto de 2018.	44
Figura 5-2 Monto pagado (\$) por concepto de consumo energético de marzo a agosto de 2018.	45
Figura 5-3 Demanda facturada (kW) de acuerdo con los periodos de punta, intermedio y base de marzo a agosto de 2018.....	45
Figura 5-4 Consumo facturado (kWh) de acuerdo con los periodos de punta, intermedio y base de marzo a agosto de 2018.....	46
Figura 5-5 Diagrama de Pareto del consumo energético (kWh) por área de producción.	48
Figura 5-6 Modelo jerárquico de decisión del problema.	50
Figura 5-7 Matriz de respuesta de preferencia del participante 1.	51
Figura 5-8 Matriz de respuesta de preferencia del participante 2.	51
Figura 5-9 Matriz de respuesta de preferencia del participante 3.	52
Figura 5-10 Matriz de respuesta de preferencia del tomador de decisión.....	52
Figura 5-11 Clasificación de las MEE evaluadas.....	57

RESUMEN

Ante los incrementos en las tarifas de los energéticos, las organizaciones y sociedad en general buscan alternativas para contrarrestar los efectos negativos que esto representa para sus actividades. En este estudio se propone un marco metodológico para la selección de medidas de eficiencia energética para el sector industrial, en el cual se analiza el problema desde un enfoque de toma de decisión multicriterio. Mediante el estudio a una empresa de manufactura de vidrio, a raíz de una revisión energética, se identificaron medidas de eficiencia energética, se seleccionaron los criterios de evaluación, así como la herramienta para la toma de decisión, para concluir con la selección de las alternativas mediante el método multicriterio AHP-TOPSIS. Basados en el caso de estudio, se analizaron ocho alternativas con seis criterios de decisión del cual se obtuvo como resultado la selección de la alternativa MEE6, la cual tenía el mejor desempeño.

Palabras clave: Eficiencia energética, AHP-TOPSIS, MCDA, Industria, Vidrio, Marco metodológico.

ABSTRACT

Faced with increases in energy tariffs, organizations and society in general seek alternatives to counteract the negative effects that this represents for their activities. This study proposes a methodological framework for the selection of energy efficiency measures for the industrial sector, where the problem is analyzed from the perspective of multi-criteria decision. Through the study of a glass manufacturing company, following an energy review, energy efficiency measures were identified, the evaluation criteria were selected, as well as the tool for decision making, to conclude with the selection of alternatives using the AHP-TOPSIS multicriteria method. Based on the case study, eight alternatives were analyzed with six decision criteria from which the selection of the alternative MEE6 was obtained, which had the best performance.

Keywords: Energy efficiency, AHP-TOPSIS, MCDA, Industry, Glass, Methodological framework.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Entre los principales problemas que se está presentando en el mundo se encuentran la escasez y alto costo de la energía, esto debido a que la fuente principal de los energéticos que actualmente se están utilizando se derivan de combustibles fósiles. Desde el año 2005, un déficit en la producción de barriles de petróleo (**Figura 1-1**) ha estado presente en México. Esto es de resaltar debido a que las plantas de generación de energía eléctrica en el país producen energía eléctrica a partir de derivados de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y diésel) lo que ocasiona un incremento en los costos de producción de energía y por consiguiente un aumento a las tarifas a los clientes (Secretaría de Energía, 2017) (**Figura 1-2**).

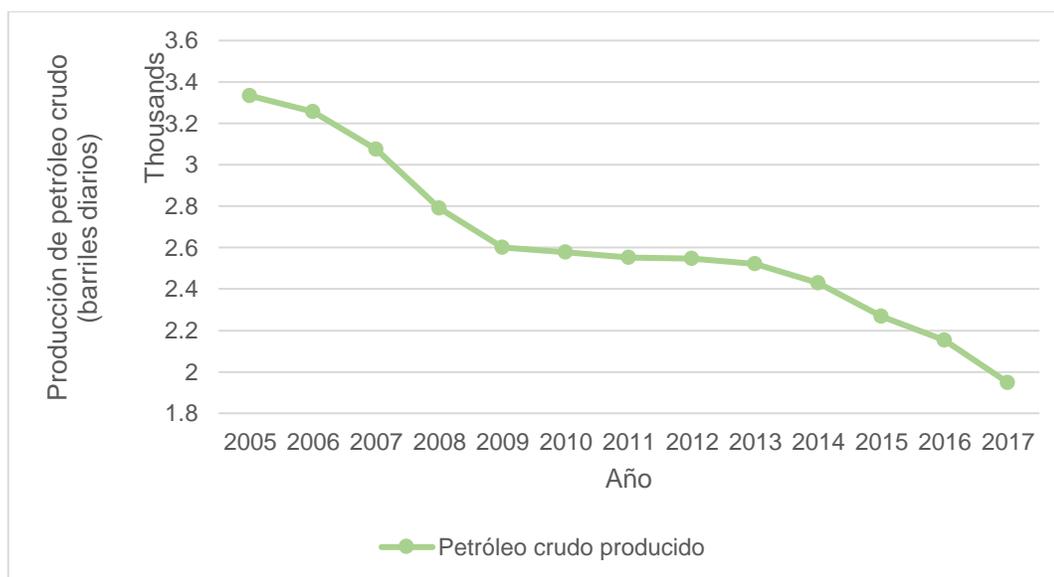


Figura 1-1 Producción de petróleo en México 2005-2017. Fuente: Secretaría de Energía (2018)

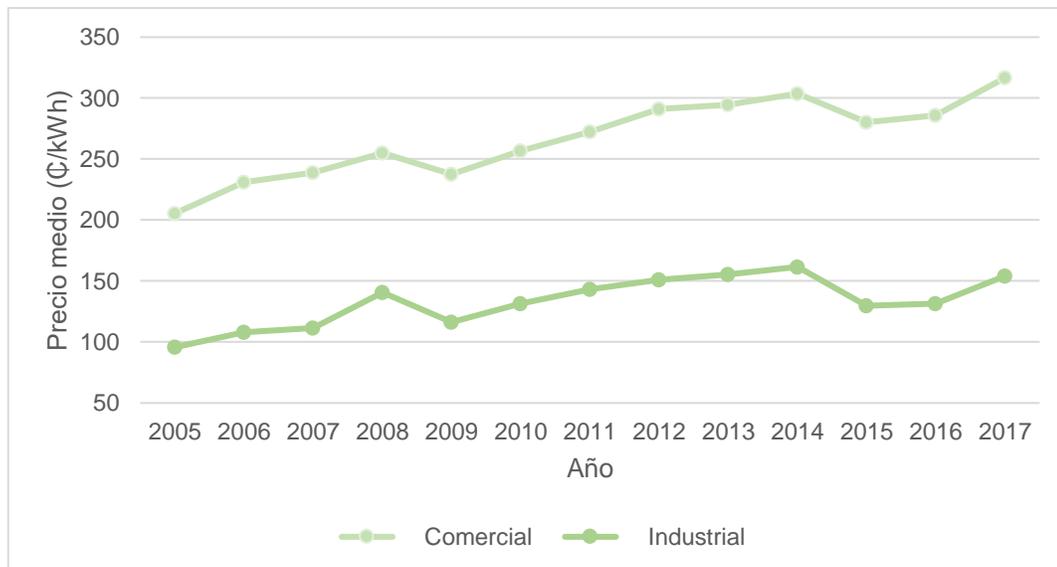


Figura 1-2 Precio de las tarifas comercial e industrial en México 2005-2017. Fuente: Secretaría de Energía (2018)

Según la Secretaría de Energía (2018):

La generación de energía eléctrica en el año 2017 en México se realiza por medio de ocho procesos, el primer proceso y el que más se utiliza en México es el termoeléctrico, con una participación 177,792,629.30 de MWh o el 69.07% de la producción nacional; la generación carboeléctrica, con una participación del 11.95% o 30,751,592.90 MWh, la generación hidroeléctrica, con una participación del 11.68% o 30,077,738.47 MWh, la generación nucleoelectrica, con una participación del 10,882,861.75 MWh (4.23%), la generación geotermoeléctrica, con una participación del 2.30% o 5,924,537.31 MWh, la generación eólica con 1,976,434.41 MWh (.77%), la generación fotovoltaica, con una participación del 0.004% o 10,887.86 MWh y la tecnología dual que no tiene producción en el año .

Cabe señalar que el principal proceso que se utiliza en México para la generación de energía eléctrica, funciona a través de la calefacción de agua por medio de combustibles fósiles, carbón o gas natural, que permite que el vapor generado por este proceso mueva turbinas que a su vez se cuentan adaptados a generadores eléctricos que por el movimiento de sus turbinas produce la electricidad (**Figura 1-3**).

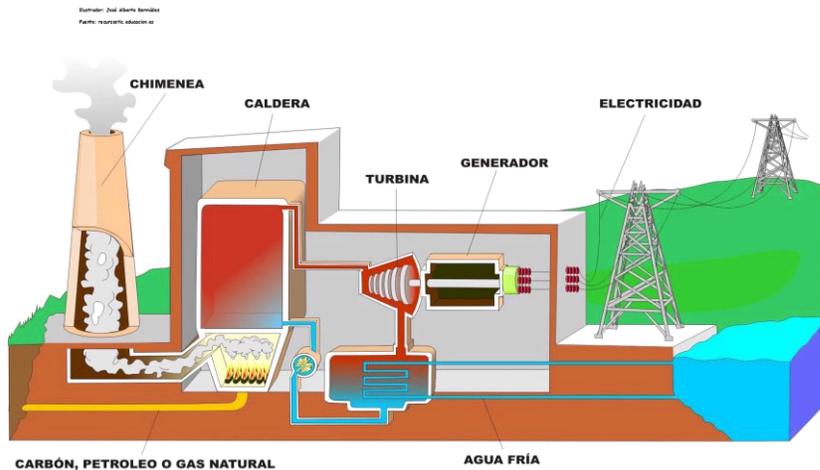


Figura 1-3 Proceso termoeléctrico de generación de energía eléctrica. Fuente: Bermúdez (2013)

Los incrementos en la tarifa eléctrica han afectado a las empresas de todo el país, ocasionando que se vean obligados a implementar acciones para reducir los problemas que esto significa, ya sea realizando modificaciones a sus procesos o adquiriendo equipo más eficiente energéticamente hablando, sin afectar a sus clientes en calidad en sus productos o servicios y en el precio.

II. ESTADO DEL ARTE

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Eficiencia Energética

La Eficiencia Energética (EE) según Entorno (2016) es: “el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos, pero esto no significa una disminución o restricción para el desarrollo de alguna actividad específica”.

Según la empresa especializada en manejo de energía Schneider Electric (2010) es “el uso eficiente de energía es el modo más rápido, económico y limpio de reducir nuestro consumo energético y reducir así las emisiones de gases de efecto invernadero”. Los autores Capehart, Turner, & William (2003), lo define como:

El uso razonable y efectivo de la energía para maximizar la utilidad y mejorar la posición competitiva, mediante el uso de principios de la ingeniería y economía para controlar el costo de la energía proporcionando los servicios necesarios en edificios e industrias.

Todas estas definiciones concuerdan con que la EE es el uso razonable y efectivo de la energía que se utiliza y que por medio de ella se alcanzan beneficios para el que lo esté empleando ya sea de forma de utilidades o en competitividad.

2.1.2 Barreras y factores de impulso de la Eficiencia Energética

Para la industria y en general, la EE es un tema que está tomando un impulso muy importante en los últimos años, debido a una serie de acontecimientos y movimientos que se han generado y esparcido a nivel mundial. De igual forma, hay que señalar que al ser este un término que conlleva una serie de acciones que las personas y organizaciones deben llevar a cabo, aún se presentan ciertos temores y barreras que hacen que no se realice de forma cotidiana o abiertamente.

Los detonantes que llevan a las personas y organizaciones a pensar en EE pueden estar divididas en tres categorías: Mercado, Cultura y Política (May, Stahl, Taisch, & Kiritsis, 2017). Los mismos autores comentan que:

Entre los factores del mercado se pueden encontrar al potencial económico por ahorro de gastos energéticos, reducción en el costo de productos, mayor productividad de los procesos y la amenaza en el incremento del precio de los energéticos. En el ambiente cultural, la gestión ambiental de las compañías, la adquisición de conocimiento y conciencia de los empleados, y la ambición de las personas son factores que repercuten en la decisión por la EE. Otro de los factores que repercuten en esta decisión se encuentra los factores políticos, tales como programas gubernamentales, incentivos o subsidios hacen que las empresas y las personas se acerquen más a estos temas (May et al., 2017) (**Figura 2-1**).

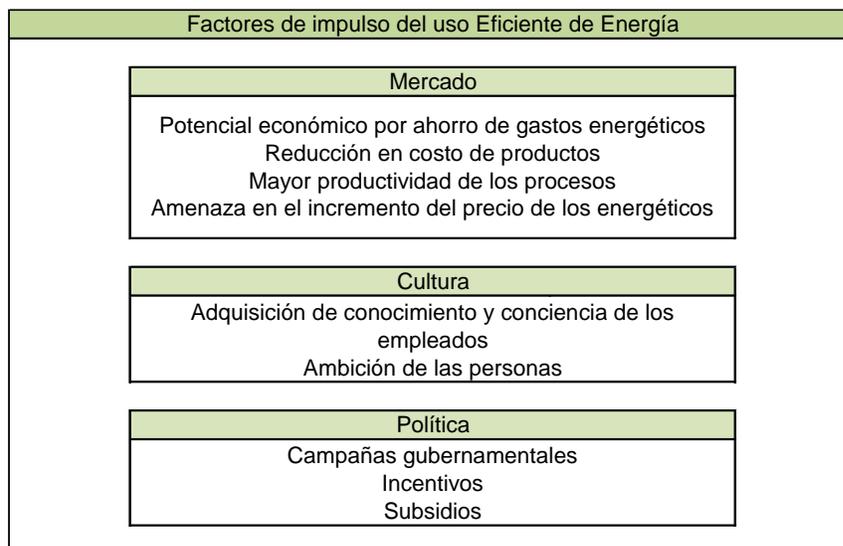


Figura 2-1 Factores de impulso del uso eficiente de energía. Fuente: May et al. (2017)

Por otro lado, se pueden encontrar una gran cantidad de barreras, temores o impedimentos por los cuales las empresas y las personas aún se limitan en estos temas. De acuerdo a un trabajo realizado por el Politécnico de Milán en 2013 se clasificaron a estas barreras en diferentes categorías como: Tecnología, Información, Económico, Comportamiento, Organizacional, Competencia y Conciencia (Trianni, Cagno, Marchesani, & Spallina, 2017). Barreras como tecnología no adecuada o no disponible, poca información en costo y beneficios, poco capital disponible, costo de inversión, poco interés en intervenciones de EE, complejas cadenas de decisión o poca conciencia, que se encuentran en las

categorías anteriores, hacen que las organizaciones y personas no tomen en cuenta a la EE como una herramienta para obtener beneficios (**Cuadro 2-1**).

Cuadro 2-1 Barreras para el uso eficiente de la energía. Fuente: Trianni et al. (2017)

Categoría	Barrera
Tecnología	Tecnología no adecuada Tecnología no disponible
Información	Poca información sobre costo y beneficio Información no clara por proveedores de tecnología Confianza en las fuentes de información Problemas en la información sobre contratos de energía
Económico	Poco capital disponible Costo de inversión Riesgos externos Intervenciones poco rentables Riesgo en las intervenciones Costos ocultos
Comportamiento	Otras prioridades Poca compartición de objetivos Poco interés en intervenciones de eficiencia energética Criterios de evaluación imperfectos Inercia
Organizacional	Falta de tiempo Intereses diversos Complejas cadenas de decisión Poco interés en la eficiencia energética
Competencia	Implementación de intervenciones Identificación de las ineficiencias Identificación de las oportunidades Dificultad en obtener habilidades externas
Conciencia	Falta de conciencia

2.1.3 Áreas de acción para lograr la Eficiencia Energética

En las empresas, la EE puede ser alcanzada a nivel de sitio de tres diferentes formas: empleando tecnología más eficiente, cambiando los hábitos energéticos empresariales por unos más eficientes y cambiando a combustibles alternativos o las rutas de producción/transportación/consumo

por aquellas que brinden el mismo servicio consumiendo menos energía (De Mello Santana & Bajay, 2016).

Las acciones más comunes que se tienen como una oportunidad para lograr la eficiencia energética están divididos en cinco categorías: Iluminación del edificio, sistemas HVAC (Ventilación, calefacción y aire acondicionado), Motores, Aire comprimido y Bombas de agua (Masanet, Therkelsen, & Worrell, 2012).

Según Schneider Electric (2014):

Con acciones en el sistema de iluminación se pueden alcanzar ahorros de hasta un 30% en el consumo de energía, esto realizando acciones de cambio de iluminarias, o apagando las luces cuando no se encuentran en las habitaciones. En acciones como el control preciso de la temperatura de confort, minimización de pérdidas de calor/frío o reparación de ductos dañados, se pueden alcanzar ahorros hasta de un 20%.

Por otro lado, XENERGY (2002) menciona que:

El uso de motores es uno de los principales consumidores de energía, esto debido a que se encuentran presentes en diferentes sistemas de la empresa, HVAC, bombas de agua, aire comprimido es por eso que con acciones como la adquisición de motores más eficientes o con el mantenimiento de estos mismos se puede asegurar ahorros de hasta un 14.8%.

En el caso del aire comprimido, Masanet et al. (2012) mencionan que “es una de las formas más cara de energía en la industria debido a su baja eficiencia del 10% desde que se empieza y termina de usar”. Acciones como la reducción de pérdidas de las tuberías y equipos o implementación de control del uso de los compresores permitirían obtener diferentes porcentajes de ahorros.

Las bombas de agua al generar su movimiento por motores, tienen una desventaja por la eficiencia energética que estos tengan, los planes de mantenimiento representan ahorros energéticos de entre 2% a 7% o la correcta selección de las tuberías brindan entre un 5% a 20% de ahorro (XENERGY, 2002).

Además de los beneficios económicos, realizar las mismas funciones con un menor costo, el uso eficiente de la energía, tiene implícito otros beneficios no-energéticos que agregan valor o mejoran los servicios energéticos. Entre los beneficios no-energéticos se puede encontrar:

Una mejora en el ambiente interno, confort, salud y seguridad, reducción de ruido, ahorro en trabajo y tiempos, mejora en el control del proceso, aumento en la conveniencia o comodidad, ahorro en el agua y disminución de su desperdicio, así como en algunos casos beneficios económicos directos o indirectos al reducir los equipos (Mills & Rosenfeld, 1996).

2.1.4 Eficiencia Energética en México

En el ámbito del gobierno con la participación internacional de México en organizaciones que velan por el combate al cambio climático, México ha desarrollado normas, políticas y organismos que procuran impulsar estos temas de interés (**Cuadro 2-2**). De acuerdo con los Indicadores de las Regulaciones para la Energía Sostenible del Banco Mundial, donde se evalúan ámbitos de eficiencia energética y energía renovable, México se encuentra entre los primeros diez países de una lista de 111 ocupando el 8 lugar junto con Bélgica (Banco Mundial, 2017).

Los temas de EE en México empiezan a desarrollarse a los finales de los ochenta, cuando se crea en 1989 la Comisión Nacional para el Ahorro de la Energía (CONAE), la cual fue remplazada por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) como resultado de la entrada en vigor de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE) en 2008 (Secretaría de Energía, 2014).

La CONUEE es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Energía (SENER) que cuenta con autonomía técnica y operativa, cuyo objetivo es promover la eficiencia energética y constituirse como órgano de carácter técnico en materia de aprovechamiento sustentable de la energía para las entidades de la Administración Pública Federal (APF), estados, municipios y particulares (Galindo, 2008).

Cuadro 2-2 Programas de ahorro y eficiencia energética en México. Fuente: Secretaría de Energía (2014)

Programa	Descripción
Normalización (NOM)	Esta a cargo de la CONUEE genera normas de eficiencia energética (eléctrica y térmica), cuenta con laboratorios de prueba, organismos de certificación y unidades de verificación
Programa de Mejoramiento Sustentable en Vivienda Existente	Tiene por objeto apoyar al sector residencial en la adquisición de tecnología sustentable y eficiente a fin de reducir el gasto familiar por concepto de consumo eléctrico
Horario de verano	Se implementa desde 1966, como una medida promovida por la SENER, CONUEE, CFE y el FIDE enfocada a disminuir el consumo de energía en la iluminación a través del diferencial de horarios en las actividades y aprovechando la luz natural
Programa Ahórrate una Luz	Es un programa de la SENER operado por la FIDE con el apoyo de Dicons S.A. de C.V., cuyo objetivo es la entrega de 40 millones de lámparas ahorradoras a los habitantes de poblaciones de menos de 100 mil habitantes
Programa de Ahorro de Energía en la Administración Pública Federal	Programa que se implementa a través de disposiciones administrativas oficiales que todas las dependencias de la APF deben cumplir, mediante acciones de buenas prácticas e innovación tecnológica
Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal	Tiene como finalidad impulsar la eficiencia energética a través de la sustitución de sistemas ineficientes de alumbrado público municipal
Programa Nacional de Sistemas de gestión de la Energía (PRONASGEN)	Este programa promueve la aplicación de sistemas de gestión de la energía basados en la norma ISO50001 y apoya a usuarios de energía con asesoría y herramientas de análisis
Programa de Ahorro y Eficiencia Energética Empresarial, Eco-Crédito Empresarial	Tiene como objetivo el aumento de la competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas empresas (MiPyMES) mediante la reducción de sus costos de operación, a través del ahorro y uso eficiente de la energía
Programa Eficiencia Energética de FIRA	Apoya a la agroindustria a realizar inversiones en tecnología que generen ahorros de energía a través de instrumentos financieros y no financieros
Proyecto de Eficiencia y Sustentabilidad Energética en Municipios (PRESEM)	Con colaboración del Banco Mundial (BM) se desarrollo este proyecto que incluye: Identificación del potencial de eficiencia energética en municipios; desarrollo de políticas y fortalecimiento institucional y normativo en municipios del país e inversiones en subproyectos de eficiencia energética en los sectores de mayor potencial de ahorro: alumbrado público, edificaciones municipales y agua potable y residual (bombeo)

En 1990, se establece el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) cuya finalidad es impulsar el ahorro de energía eléctrica en todos los sectores económicos de México e impulsar el desarrollo de una cultura del uso racional de la energía. Este fideicomiso, complementó al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PEASE) de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), creado en 1989 con el objetivo de producir y distribuir energía eléctrica al menor coste, así como promover su uso eficiente en todos los sectores a través de proyectos de eficiencia energética, asesoría técnica, capacitación en ahorro de energía, actividades de evaluación y difusión (Secretaría de Energía, 2014). Finalmente, la

SENER tiene bajo su responsabilidad al Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE) establecido en 2009, utilizado para financiar, entre otros, proyectos y programas de eficiencia energética.

2.1.5 Indicadores de proyectos de Eficiencia Energética

Para la evaluación de proyectos de EE se han presentado una serie de criterios que cubren aspectos de áreas técnicas, económicas, ambientales y sociales (Wang, Jing, Zhang, & Zhao, 2009) por lo que se llegan a presentar los siguientes criterios (**Cuadro 2-3**):

Cuadro 2-3 Criterios de evaluación de proyectos de energía sustentable. Fuente Wang et al. (2009)

Aspectos	Criterios
Técnicos	Eficiencia Eficiencia de exergía Índice de energético primario Seguridad Confiabilidad Madurez Otros
Económicos	Costo de inversión Costo de operación y mantenimiento Costo de combustible Costo de energía eléctrica Valor presente neto (VPN) Periodo de retorno de inversión (PIR) Tiempo de vida de servicio Costo anual equivalente Otros
Ambientales	Emisión de No Emisión de CO ₂ Emisión de CO Emisión de SO ₂ Emisión de partículas Compuestos orgánicos volátiles distintos del metano Uso de suelo Ruido Otros
Sociales	Aceptación social Creación de trabajo Beneficios sociales Otros

De tal forma, criterios como ahorro de energía, ahorro económico, emisiones de gases de efecto invernadero, inversión, retorno de inversión, son algunos de los criterios que se presentan en diferentes metodologías como punto de referencia o resultados de la implementación de proyectos de eficiencia energética. Para el cálculo de dichos criterios, se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

Porcentaje de ahorro energético (%). Porcentaje de la energía que se puede ahorrar con la medida con respecto al total del consumo energético actual. Este indicador se calcula con base en la siguiente Ec. 1:

$$\text{Porcentaje de ahorro energético} = \frac{CEEP}{CTI} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

Porcentaje de ahorro energético: Porcentaje de ahorro energético (%)

CEEP: Consumo de energía eléctrica al año con proyecto por año (kWh/año)

CTI: Consumo de energía eléctrica total de las instalaciones (kWh/año)

Ahorro de energía anual (kWh/año). Estimación del ahorro energético que se puede obtener por medio de la medida durante el periodo de un año. Este indicador se calcula con base en la siguiente Ec. 2:

$$\text{Ahorro de energía anual} = CEES - CEEP \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

Ahorro de energía anual: Ahorro energético resultante de la medida por año (kWh/año)

CEES: Consumo de energía eléctrica al año sin proyecto por año (kWh/año)

CEEP: Consumo de energía eléctrica con proyecto por año (kWh/año)

Emisiones evitadas de gases de efecto invernadero (kg de CO₂). Estimación de la cantidad de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se evita por llevar a cabo la medida. Este indicador se calcula con base en la siguiente Ec. 3:

$$\text{Emisiones de GEI evitadas} = CEE \times FE \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

Emisiones de GEI evitadas: Emisiones de GEI evitadas por la medida (kg de CO₂)

CEE: Consumo de energía eléctrica al año (kWh)

FE: Factor de emisión de GEI (tCO₂/MWh)

Ahorro económico anual (MXN/año). Estimación del ahorro económico que se puede obtener por medio de la medida durante un periodo de año. Este indicador se calcula con base en la siguiente Ec. 4:

$$\text{Ahorro económico anual} = GEES - GEEP \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

Ahorro económico anual: Ahorro económico resultante de la medida (MXN/año)

GEES: Gasto de energía eléctrica al año sin proyecto (MXN/año)

GEEP: Gasto de energía eléctrica al año con proyecto (MXN/año)

Inversiones necesarias (MXN). Estimación de la inversión necesaria para poder llevar a cabo la medida, esto debe contemplar el monto de adquisición, monto de instalación y monto de mantenimiento de la medida. Este indicador se calcula con base en la siguiente Ec. 5:

$$\text{Inversión necesaria} = Adq + Inst + Man \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

Inversión necesaria: Monto de dinero necesario para poder adquirir, instalar y mantener la medida (MXN)

Adq: Monto de dinero requerido para la adquisición de los componentes de la medida (MXN)

Inst: Monto de dinero requerido para la instalación de la medida (MXN)

Man: Monto de dinero requerido para el mantenimiento de la medida (MXN)

Tiempo de amortización (años). Tiempo en número de años requerido para recuperar la inversión financiera al implementar la medida y que se empiece a obtener un beneficio. Este indicador se calcula con base en la siguiente Ec. 6:

$$\text{Tiempo de amortización} = \frac{\text{Costo de inversión}}{\text{Ahorro económico anual}} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

Tiempo de amortización: Tiempo de amortización de la medida de eficiencia energética (años)

Costo de inversión: Monto de dinero necesario para poder adquirir, instalar y mantener la medida (MXN)

Ahorro económico anual: Ahorro económico resultante de la medida (MXN/año)

2.1.6 Toma de decisión multicriterio

La toma de decisión multicriterio “es una rama de los modelos de investigación de operaciones que permiten manipular criterios tanto cuantitativos como cualitativos y analizar conflictos en criterios y tomadores de decisiones” (Taha & Daim, 2013). El principal objetivo de la toma de decisión multicriterio, es la selección de una alternativa con la mayor puntuación de acuerdo con un conjunto de criterios de evaluación.

El proceso de toma de decisión multicriterio puede estar relacionado con la teoría de racionalidad limitada de Herbert Simon, en la cual menciona que “las personas toman decisiones a partir de cierta información disponible y de cierta capacidad de procesarla” (Ibarra, 2010). De la misma forma Simon (1977) presenta una metodología para la toma de decisiones compuesta de tres pasos esenciales (**Figura 2-2**):

- Investigación: Esta etapa implica una investigación del ambiente por condiciones que requieren una decisión.
- Diseño: Esta etapa involucra la invención, desarrollo y análisis de posibles cursos de acción.
- Selección: La principal tarea de esta etapa es evaluar las posibles alternativas y seleccionar la mejor alternativa con base en los criterios de selección.

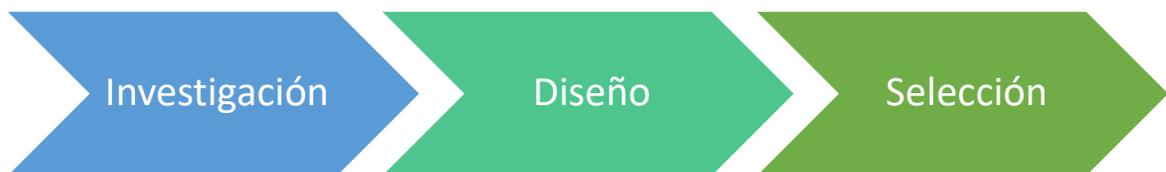


Figura 2-2 Proceso de toma de decisión.

2.1.7 Métodos de toma de decisión multicriterio

De acuerdo con Belton & Stewart (2002), los modelos de toma de decisión multicriterio se pueden dividir en tres categorías:

Modelos de Medición de Valor: donde puntajes numéricos son construidos, para representar el grado de preferencia entre una opción de decisión y otra. Dichos puntajes son desarrollados inicialmente por cada uno de los criterios y luego se sintetizan para efectuar la agregación en modelos de preferencia de nivel superior.

Modelos de Nivel de Referencia, Objetivos o Aspiraciones: dicha clasificación establece para cada criterio niveles de logros deseables o satisfactorios, para luego buscar descubrir opciones que, en cierto sentido, estén más cerca de lograr estas metas o aspiraciones deseables.

Modelos sobre valoración: en este tipo de modelos los cursos de acción alternativos son comparados en parejas, inicialmente en términos de cada criterio, con el fin de identificar en qué medida puede afirmarse una preferencia sobre la otra. Al agregar dicha información de preferencia a través de todos los criterios relevantes, el modelo busca establecer la fuerza de la evidencia que favorece la selección de una alternativa sobre otra.

2.1.7.1 *Analytic Hierarchy Process (AHP)*

La metodología de toma de decisión multicriterio *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, fue propuesta por Thomas L. Saaty en su libro “*The Analytic Hierarchy Process*” en 1980. “Se puede considerar a la metodología AHP para mediciones relativas, por lo que no está interesado en mediciones exactas de algunas variables sino la proporción que existe entre ellos” (Brunelli, 2015).

De igual forma, el autor Brunelli (2015) menciona que: “El método AHP mayormente trata con juicios subjetivos y atributos intangibles, por lo que es una herramienta para problemas con variables tanto cualitativas como cuantitativas”. La metodología AHP, está basada según Saaty (1980) en los siguientes pasos:

Paso 1: Construcción de la estructura jerárquica. Se construirá una estructura jerárquica para representar los objetivos, los criterios o indicadores de análisis y las alternativas para resolver la problemática. En la parte superior se tendrá el objetivo del estudio, en un nivel intermedio se tendrá los criterios de análisis y en nivel inferior las alternativas para lograr el objetivo (**Figura 2-3**).

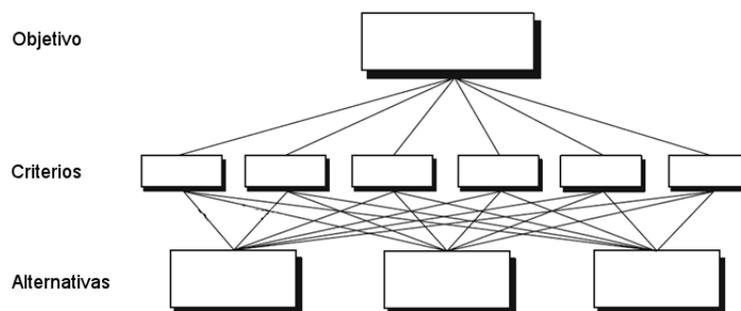


Figura 2-3 Diagrama de estructura jerárquica para el método AHP. Fuente: Saaty & Vargas (2012)

Paso 2: Preparación del formato de cuestionario y la matriz de comparación por pares. Con los criterios seleccionados, se realizará una matriz de comparación de estas mismas. Una vez elaborada la matriz se entrevistará a expertos y a los miembros de la empresa que se encargan de la gestión de la energía que, de acuerdo a su juicio, le den una calificación de importancia a la relación de criterios del 1 al 9 con base en escala presentada por Saaty (**Cuadro 2-5**).

De la misma forma, por cada uno de los criterios de evaluación, se realizará una matriz de comparación de las alternativas, teniendo como base de calificación la misma escala (Cuadro 2-5) utilizada en la comparación de criterios. Al resolver la matriz los expertos y miembros de la empresa únicamente contestarán el triángulo superior de la matriz por lo que es necesario utilizar la siguiente Ec. 7 para poder completar la matriz:

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

a_{ij} = Preferencia de la alternativa i con respecto a la alternativa j

a_{ji} = Preferencia de la alternativa j con respecto a la alternativa i

$j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m$

Paso 3: Comprobación de la consistencia de los pares. Uno de los pasos importantes para conocer la veracidad de los pares es la prueba de consistencia. Para este paso se calculará la razón de consistencia (CR) (Ec. 8), cuyo valor deberá ser menor que 0.1, que de acuerdo a (Saaty, 1990) lo define como la razón del índice de consistencia (CI) (Ec. 9) entre el índice de inconsistencia al azar (RI), de la siguiente manera:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde CI puede ser calculado de la siguiente forma:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

λ_{max} = Valor propio máximo de la matriz

n = Orden de la matriz de comparación

El valor de RI estará definido por el valor representado en el (**Cuadro 2-4**) del orden de la matriz.

Cuadro 2-4 Índice de inconsistencia al azar promedio (RI) Fuente: Saaty (1990)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Random consistency index (R.I.)	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Paso 4: Realización de la agregación y cálculo de la ponderación relativa de los criterios y estrategias. Para el cálculo de la ponderación relativa, se utilizará el método de la media geométrica, el cual será calculado con la siguiente Ec. 10:

$$w_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^m r_i} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde w_i es la ponderación relativa de cada una de las alternativas en cada uno de los criterios y r_i es la media geométrica de cada una de las filas de la matriz de decisión y se obtendrá con la siguiente Ec. 11:

$$r_i = \left(\prod_{j=1}^m a_{ij} \right)^{1/m} \quad \text{Ec. 11}$$

Cuadro 2-5 *Tabla de calificación de importancia de criterios y alternativas. Fuente: Saaty (1990)*

Intensidad de importancia en una escala absoluta	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen de igual forma al objetivo.
3	Importancia moderada entre una sobre la otra	Experiencia y juicio favorece fuertemente a una actividad sobre la otra.
5	Esencial o importancia fuerte	Experiencia y juicio favorece fuertemente a una actividad sobre la otra.
7	Muy fuerte importancia	Una actividad es fuertemente favorecida y su dominio es demostrado en la práctica.
9	Extrema importancia	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es del orden más alto posible de afirmación.
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Cuando el compromiso es necesario.
Recíprocos	Si la actividad <i>i</i> tiene alguno de los valores anteriores asignados cuando es comparado con la actividad <i>j</i> , entonces <i>j</i> tiene el valor recíproco cuando es comparado con <i>i</i>	
Racionales	Proporciones derivadas de la escala	Si la consistencia fuese forzada para obtener <i>n</i> valores numéricos para abarcar la matriz.

2.1.7.2 *Technique for Order of Preference by Similarity to ideal Solution (TOPSIS)*

El método *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) fue desarrollado por Hwang y Yoon en 1981, para resolver problemas de toma de decisión multicriterio basados en el concepto que la alternativa seleccionada deberá tener la distancia más corta de la solución ideal positiva (A^*) y la distancia más larga de la solución ideal negativa (A^-). Por consiguiente, la solución ideal positiva maximiza la funcionalidad y minimiza el costo mientras que la solución ideal negativa maximiza el costo y minimiza la funcionalidad. En el proceso de TOPSIS, las calificaciones de rendimiento y los pesos de los criterios son dados como valores exactos (Hanine, Boutkhoul, Tikniouine, & Agouti, 2016). En comparación con la metodología AHP, TOPSIS tiene una desventaja con el manejo de variables cualitativas ya que toma únicamente como elementos de calificación valores exactos y cuantitativos, haciendo que se deba presentar ciertas características para la aplicación del método.

Los pasos de TOPSIS para la calificación de las alternativas según Hwang & Yoon (1981) son los siguientes:

- Una vez que se obtiene la matriz de decisión (X) y la matriz de criterios ponderados (W), se multiplicará dichas matrices de acuerdo a la Ec. 12:

$$V_{ij} = w_j x_{ij}, \quad \text{Ec. 12}$$

$$j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m$$

- Se obtendrá la solución ideal positiva (v^+) (Ec. 13) y la solución ideal negativa (v^-) (Ec. 14) de la matriz V mediante las siguientes ecuaciones:

$$v^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \quad \text{Ec. 13}$$

$$= \{(max_i v_{ij} | i = 1, 2, \dots, m), j = 1, 2, \dots, n\}$$

$$v^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad \text{Ec. 14}$$

$$= \{(min_i v_{ij} | i = 1, 2, \dots, m), j = 1, 2, \dots, n\}$$

- Se calculará la distancia por cada alternativa de la solución positiva ideal (d^+) (Ec. 15) y la solución negativa ideal (d^-) (Ec. 16) por medio de las siguientes ecuaciones:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad \text{Ec. 15}$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad \text{Ec. 16}$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

- Finalmente, se realizará la clasificación de las alternativas mediante el índice de proximidad relativa a la solución ideal R_i (Ec. 17), el cual se enlistará de forma ascendente:

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad \text{Ec. 17}$$

2.1.7.3 AHP-TOPSIS

La combinación de los métodos de toma de decisión multicriterio AHP y TOPSIS, brindan al decisor la versatilidad de la ponderación de los criterios de decisión mediante el método de AHP y las ventajas de la evaluación de las alternativas del método TOPSIS.

Con base en Hanine et al. (2016), los pasos a seguir para la implementación del método AHP-TOPSIS están representado por el siguiente diagrama propuesto (**Figura 2-4**):

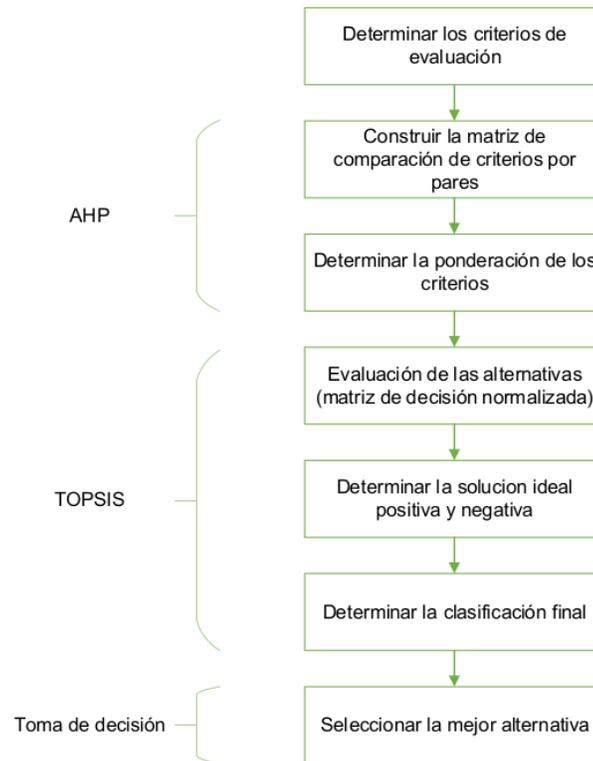


Figura 2-4 Metodología AHP-TOPSIS. Fuente: Hanine et al. (2016)

2.2 Marco contextual

2.2.1 Identificación de planes de eficiencia energética

Una metodología para la identificación de planes para el uso eficiente de la energía se puede observar en la norma ISO 50001, para la implementación de un Sistema de Gestión Energética (SGEn), la cual una vez conociendo la situación energética en la que se encuentra la organización, se generan los objetivos y metas que se quieran alcanzar se procede a la generación de los planes. La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) en México, presentó un manual en el año 2016 para que los interesados en la implementación del SGEn tengan como guía para llevar a cabo dicha implementación (Flores, Escobosa, & Espinosa, 2016).

En dicho manual se propone una metodología integrada por ocho etapas (**Figura 2-5**) en el contexto de un ciclo de mejora continua Planear/Hacer/Verificar/Actuar (PHVA). La generación de los planes se puede observar en la etapa de planeación

donde una vez obtenido el panorama energético, haber generado los objetivos y metas se procede a la identificación de los planes de acción.

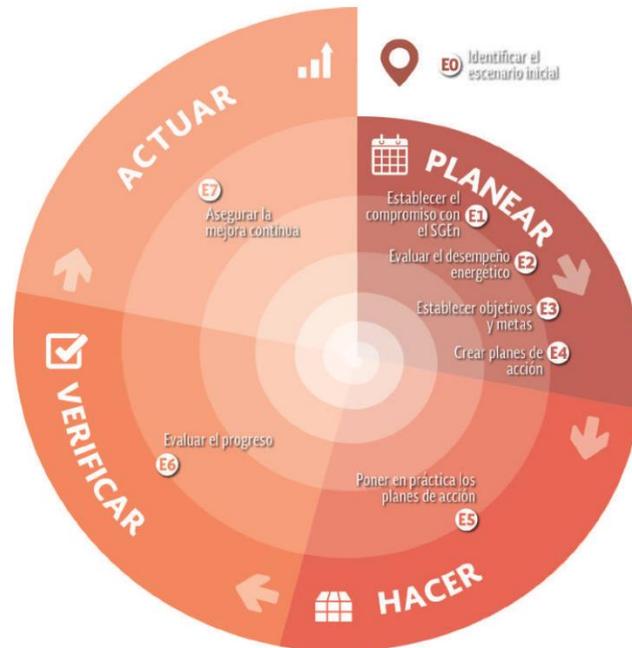


Figura 2-5 Etapas para el diseño de un SGE en el contexto de mejora continua. Fuente: Flores et al. (2016)

Otra metodología que se puede utilizar es el Diseño Energéticamente Eficiente (EED) que fue diseñada por la Agencia Chilena de Eficiencia Energética donde en el año 2014 presentó “Guía Metodológica de Eficiencia Energética en Proyectos de Inversión”, esta metodología presenta un enfoque desde el diseño del proyecto de inversión, es similar a la utilizada en las auditorías energéticas de plantas y procesos existentes con la principal diferencia que, en la fase de diseño, se puede definir qué tipo de proceso utilizar y los parámetros básicos de diseño y operación (AChEE & Limitada, 2014).

La metodología está dividida en tres fases: Fase de Ingeniería Conceptual, Fase de Ingeniería Básica y Fase de Ingeniería de Detalles (**Figura 2-6**); donde es necesario que la empresa mandante haya desarrollado las especificaciones del proyecto junto con los antecedentes energéticos. En la Fase de Ingeniería Conceptual, en esta

fase se evalúa la factibilidad técnica y económica para plantear las posibles alternativas o áreas de interés de EE en el proyecto. En la Fase de Ingeniería Básica, es en esta fase donde se realizan análisis más exactos de los costos del proyecto, se establecen las especificaciones técnicas de los equipos, se evalúa la rentabilidad del proyecto y se planifica el trabajo que será realizado en la Fase de Ingeniería de Detalles y ejecución del proyecto. Por último, en la Fase de Ingeniería de Detalles, se realizan diseños, documentos y planos de ingeniería que definen el proyecto en profundidad y son necesarios para su ejecución. Se compran los equipos y materiales, y se ejecuta el proyecto en sí (AChEE & Limitada, 2014).



Figura 2-6 Esquema de trabajo metodología EED Fuente: AChEE & Limitada (2014)

Una tendencia para la generación de planes de acción para combatir la eficiencia energética, es la generada a partir de la implementación de una auditoría energética, la cual, como uno de sus pasos es la recomendación con base en los resultados obtenidos de planes para mejorar la eficiencia energética del sitio donde se aplica la auditoría. La Dirección de Eficiencia Energética de El Salvador junto con el Banco Internacional del Desarrollo (2011), presentaron una metodología para la realización de auditorías energéticas en la industria el cual como uno de sus puntos principales es la elaboración de una cartera de proyectos para la eficiencia energética.

Bases de datos con recomendaciones de medidas de eficiencia energética, se pueden encontrar en instituciones gubernamentales y estudios de universidades, las cuales presentan información de las medidas que se tienen y los posibles

cambios que se pueden realizar para aumentar la eficiencia de los equipos o sistemas.

La participación de métodos como lluvia de ideas o la participación de expertos, también pueden servir como referencia para la identificación de planes para la mejora de la eficiencia energética, ya que brindan cierta pauta para que se puedan realizar estudios y análisis técnicos para la viabilidad de los planes identificados.

2.2.2 Determinación de una metodología para la toma de decisión multicriterio

Debido a la gran variedad de técnicas para la toma de decisión multicriterio, es necesario que se pueda seleccionar el método que se mejor se adapte a la situación del problema a analizar, con base en el resultado esperado del método, correcto manejo de la información de entrada, el nivel de compensación entre los valores de las entradas (Amine, Pailhes, Perry, & El, 2016).

Rosaria Guarini, Battisti, & Chiovitti (2018) presentan en una metodología para la selección del método de toma de decisión multicriterio desde un enfoque de bienes raíces y procesos de gestión de la tierra.

Polatidis, Haralambopoulos, & Vreeker (2006) presentan un enfoque para la selección de los métodos de toma de decisión en temas de la planeación de energía renovable, mencionando cuales son los requerimientos de las técnicas y atributos principales que se deben analizar para la selección del método multicriterio.

Guitouni & Martel (1998) presentan una metodología la cual tiene un enfoque basado específicamente en la situación de decisión, lo cual permite que la selección del método se vea de manera general y se adapte a la situación del problema.

Mota, Campos, & Neves-Silva (2013) presentan un análisis de las metodologías para la selección de los métodos de toma de decisión, esto es de forma general como un punto de vista para la que se pueda seguir con la selección del método indicado para el problema.

Amine et al. (2016) presentan una metodología en el cual tiene un enfoque basado en tres aspectos importantes relacionados con los datos a evaluar, su manipulación y los resultados que se esperan en la toma de decisión.

2.2.3 Selección de planes de eficiencia energética con métodos de toma de decisión multicriterio

La determinación de la viabilidad de los planes se encuentra relacionados con tres aspectos importantes: factores económicos, factores ambientales y factores sociales. Los factores económicos y ambientales son los más fáciles de cuantificar en términos económicos, mientras que los aspectos sociales deben ser analizados de diferente manera.

Tzeng & Huang (2011) presentan un estudio de caso donde se realiza la toma de decisión de la implementación de un nuevo sistema de energía en Taiwán mediante el modelo AHP y PROMETHEE, donde en primera instancia utiliza el modelo AHP para realizar la ponderación de los criterios y la toma de decisión es realizada por el método PROMETHEE.

Steinhilber et al. (2014) presentan el análisis con el método PROMETHEE de la toma de decisión de las políticas factibles para la aceptación de políticas de energías renovables en la Unión Europea para después del 2020.

Banihabib & Shabestari (2017) proponen un nuevo modelo híbrido para la toma de decisión multicriterio donde combina el método AHP y el método MTOPSIS, lo que permite que se combine la fortaleza de la obtención de los pesos relativos, la comparación por parejas y la revisión de consistencia del modelo AHP y el concepto matemático de MTOPSIS para encontrar la mejor alternativa, la cual provee la posibilidad de evadir la limitación de alternativas. Este nuevo modelo híbrido es aplicado en la selección de la mejor estrategia de gestión de la demanda de agua en regiones áridas.

Munda (1995) propone un método de toma de decisión multicriterio con principios discretos, relacionado con economía ecológica. El método NAIADE (Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments), es un método de

multicriterios discretos cuya matriz de impacto (o evaluación) puede incluir medidas booleanas, estocásticas o difusas del rendimiento de una alternativa con respecto a un criterio de decisión y no usa un criterio de ponderación tradicional.

Loikkanen, Lahdelma, & Salminen (2017) presentan en su artículo un análisis multicriterio para la selección de soluciones de energía sustentable mediante el método de Análisis de Aceptabilidad Multicriterio Estocástico (SMAA), el cual es un método basado en simulación donde diferentes tipos de información incierta es representada como distribuciones probabilísticas.

III. OBJETIVOS

3.1 Planteamiento del problema

El aumento de los precios de la energía eléctrica, el cambio de paradigma hacia el ahorro, protección del medio ambiente y el interés de disminuir costos, han impulsado a que las empresas busquen oportunidades que en corto, mediano o largo plazo brinden un ahorro en sus gastos sin comprometer la calidad de sus productos. Sin embargo, las organizaciones no llegan a realizar el análisis de las medidas por lo que en muchos de los casos realizan todas o algunas de las medidas sin tener una pauta de que lo realizado brinde un beneficio a la organización.

3.2 Justificación

Los altos costos de los energéticos, repercuten en las actividades y economía de las organizaciones, por lo que cada día se están buscando soluciones para combatir los problemas que estos representan. Por tal motivo una de las soluciones que se presentan para el combate de estos problemas es la eficiencia energética, la cual por medio de distintas medidas puede representar un cambio en el uso de los energéticos, de tal forma que se traduzca en beneficios en diversos ámbitos (Zagal León & Ortega Solís, 2012).

La selección de MEE puede ser considerado un problema complejo ya que involucra para el decisor el análisis de múltiples criterios o indicadores, por lo que, para poder tomar una decisión, es necesario el análisis de todos ellos. De la misma forma, cuando se realiza la identificación de alternativas se puede llegar a presentar un sinnúmero de oportunidades para mejorar la eficiencia energética de la organización. Dichos elementos, aumentan la complejidad de análisis para la selección de la mejor alternativa para la organización.

Por otro lado, contar con una herramienta que permita realizar la selección de la mejor alternativa, puede significar una ventaja a la hora de tomar esta decisión. Es por ello que, en este documento se presenta un marco metodológico que permite al tomador de decisión realizar esta tarea de forma más sencilla, utilizando la combinación de dos herramientas de toma de decisión multicriterio más utilizadas,

AHP-TOPSIS, de la cual se toman las ventajas de cada uno para brindar una herramienta de fácil uso y que brinde un resultado con un sustento matemático.

3.3 Objetivo general

Desarrollar un proceso metodológico de análisis de decisión multicriterio para la selección de medidas de eficiencia energética.

3.4 Objetivos específicos

- Identificar medidas de eficiencia energética.
- Aplicar un proceso metodológico de toma de decisión multicriterio.
- Seleccionar la mejor alternativa a través de un método de toma de decisión multicriterio.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación que se estará utilizando para el estudio de la empresa manufacturera de vidrio es de índole descriptivo.

4.2 Enfoque

El enfoque que se estará cubriendo en este trabajo es mixto, ya que se estarán analizando y manejando datos cualitativos como cuantitativos.

4.3 Diseño

El diseño presentado en el estudio es no experimental, debido a que están basados en datos históricos de la empresa.

4.4 Objeto de estudio

El objeto de estudio de la investigación son planes generados con base en el programa piloto Introducción de Eficiencia Energética y Sistemas de Gestión de la Energía en PyMEs de México en el marco de la cooperación binacional entre Alemania y México, el Instituto Nacional de Metrología de Alemania (PTB, por sus siglas en alemán) en conjunto con la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE),

Entre las delimitaciones del trabajo se encuentran:

- Para llevar a cabo la generación de los planes, es necesario realizar una revisión energética puesto que, con esto, se conoce la situación energética de la organización. En el caso de esta investigación estos estudios fueron llevados a cabo de forma preliminar, sin embargo, deberá ser contemplados de forma más minuciosa en la metodología.

4.5 Proceso metodológico

El proceso metodológico que se estará proponiendo para la selección de los planes de eficiencia energética, está desarrollado con base en la revisión bibliográfica realizado a estudios referentes a la energía sustentable (**Figura 4-1**).

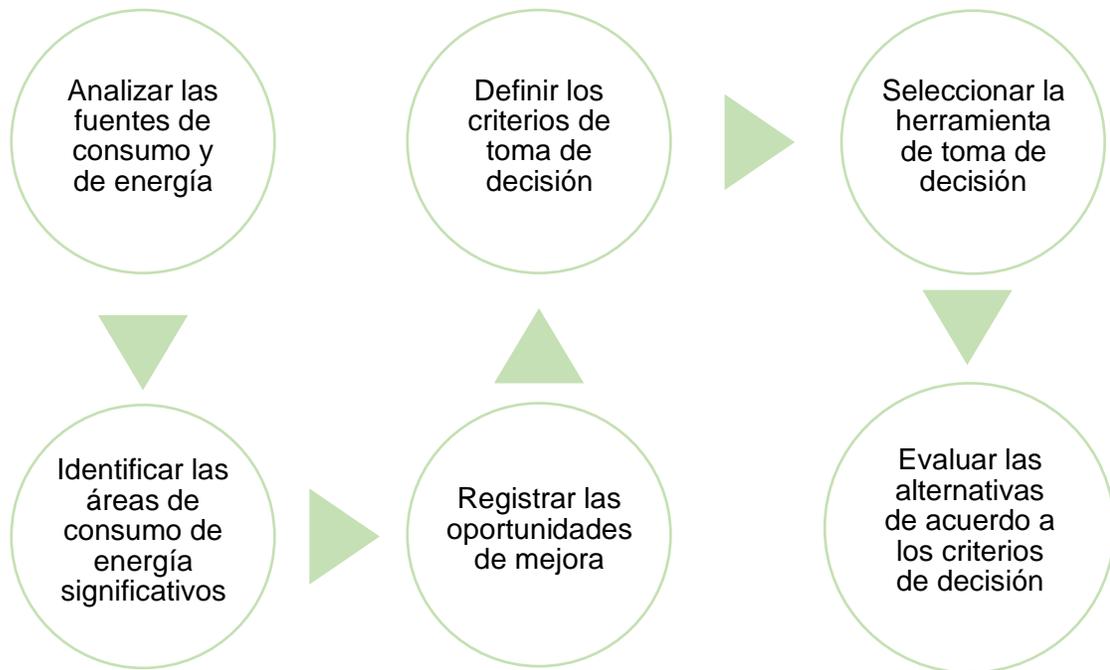


Figura 4-1 Proceso metodológico propuesto.

El primer paso que se llevará a cabo es realizar una revisión energética, la cual tiene la finalidad de comprender y analizar los usos, consumo y desempeño energético y las variables que lo impactan, para conocer de qué manera se puede mejorar. Basados en la norma ISO 50001:2011 los pasos a seguir como parte de la revisión energética son: Analizar las fuentes de consumo y de energía, Identificar las áreas de consumo de energía significativos y Registrar las oportunidades de mejora (**Figura 4-2**) (de Laire, 2013).

Los datos de entrada que se requieren para poder realizar estas actividades son: el uso de la energía, tanto información histórica como actual; variables que afectan significativamente al uso de la energía y el desempeño.

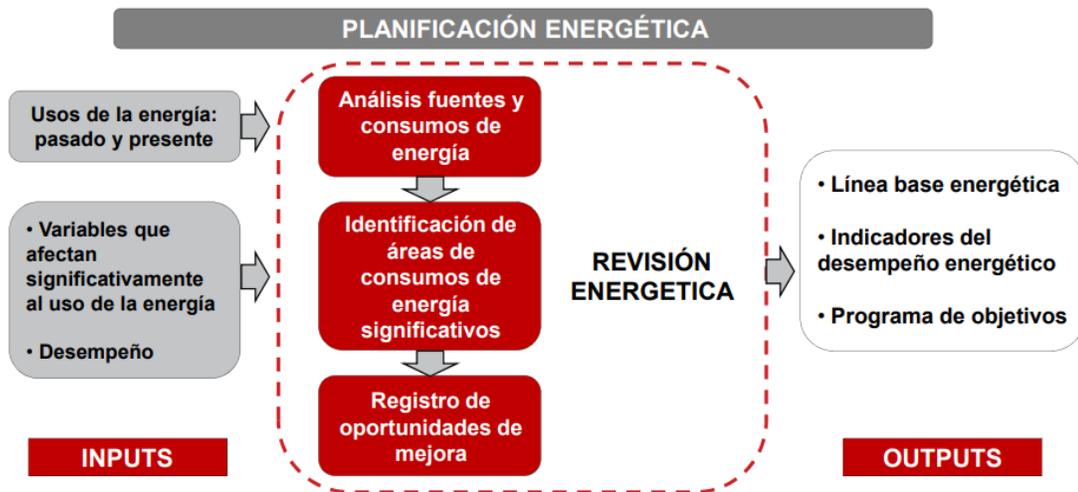


Figura 4-2 Etapas de la planificación energética según la norma ISO 50001:2011. Fuente: Creara (2012)

4.5.1 Análisis fuentes y consumos de energía

Como primer paso, se llevará a cabo un estudio inicial basado en la identificación de las fuentes de energía eléctrica utilizada por la organización, para ello es necesario la recopilación de datos básicos sobre los equipos que consumen energía, las prácticas, horarios de trabajo, los consumos y el estado general de las instalaciones.

Como siguiente paso se procederá a la medición y recolección de datos, donde se extraen los datos de consumo de cada fuente de energía y de los usos de ella, prestando especial atención a aquellos en los que se han localizado mayores oportunidades de mejora.

A continuación, se evaluará los datos del uso y consumo de la energía que fueron recolectados en los pasos anteriores, en esta etapa se podrá utilizar diagramas de flujo y listados de equipos, agrupar los equipos y procesos en forma lógica y la obtención de datos de diseños de los equipos.

4.5.2 Identificación de áreas de consumo de energía significativa

Con base en los resultados en el análisis del uso y consumo energético de la organización, se procede a la identificación de áreas de consumo significativas con

la finalidad de determinar las áreas de mayor oportunidad de mejora. Para llevar a cabo este proceso se puede seguir los siguientes pasos:

El primer paso, con los datos de la etapa anterior, se creará una matriz de usos y consumos energéticos, el cual contiene información del consumo de forma general de cada una de las áreas de la organización o en su caso la información detallada de cada una de ellas.

Para poder identificar las áreas de consumo significativo, se empleará la herramienta grafica del Diagrama de Pareto, en la cual se grafican los consumos de cada una de las áreas de la organización y en el eje de la izquierda, el consumo de energía porcentual acumulado.

4.5.3 Registro de las oportunidades de mejora

Para el registro de las oportunidades de mejora se empleará diferentes fuentes como auditorías energéticas, observaciones del personal, base de datos, recomendaciones de organizaciones y gubernamentales, entre otros.

Una vez realizada la revisión energética, se procede a Definir los criterios de toma de decisión y posteriormente a la Seleccionar la herramienta de toma de decisión.

4.5.4 Definición de criterios de toma de decisión

Con base en los criterios propuestos por Wang et al. (2009), se definen los criterios para la toma de decisión. Los cuales pueden ser calculados con respecto a las ecuaciones presentadas con anterioridad en la sección de Indicadores de proyectos de eficiencia energética.

4.5.5 Selección de la herramienta de toma de decisión

La selección de la herramienta de toma de decisión, está definida con base en la metodología propuestas por Wątróbski (2016), el cual presenta un diagrama de flujo para la selección del método multicriterio basado en las características del problema de decisión:

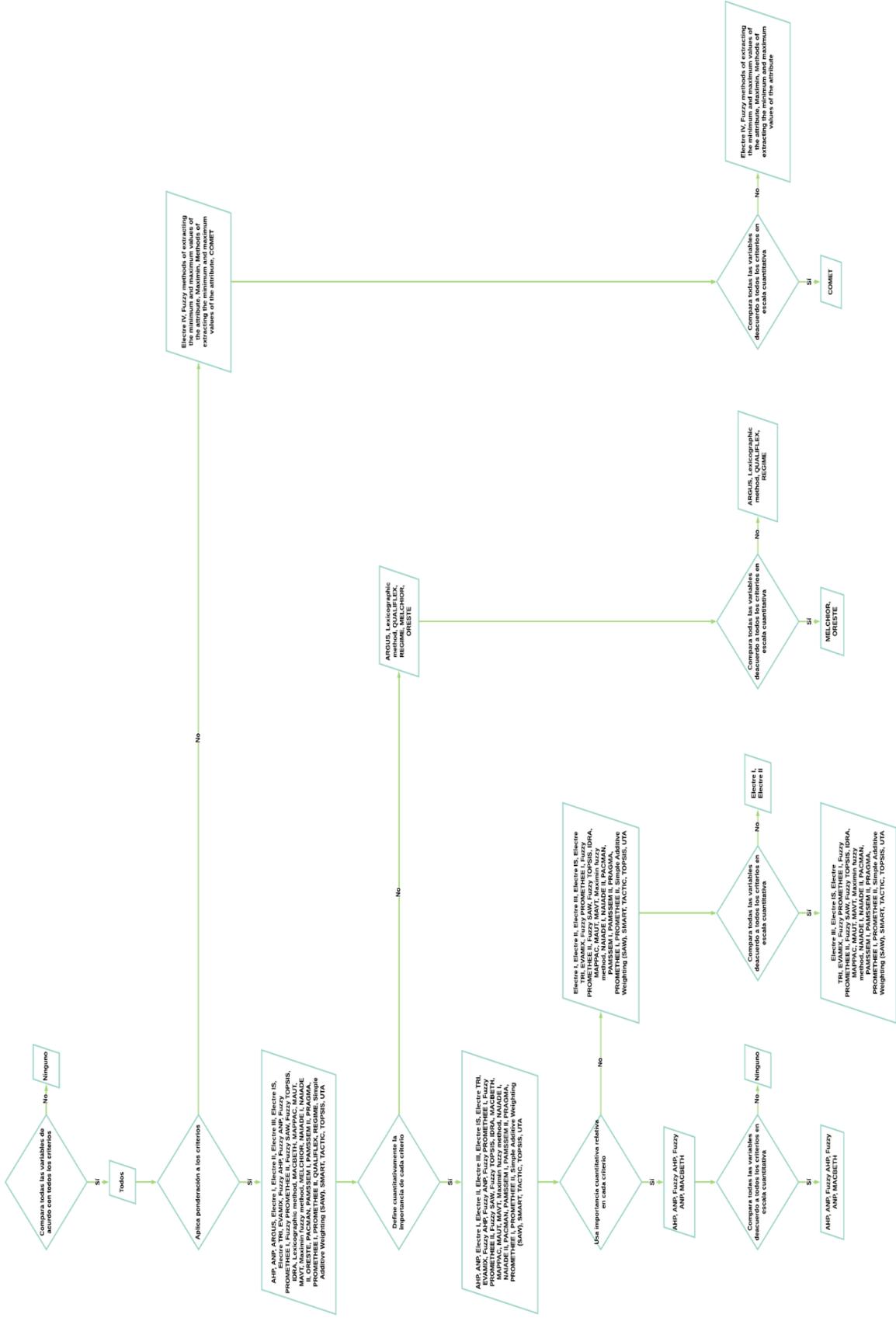
Como primer paso, se deberá determinar la posibilidad de comparar todas las alternativas con todos los criterios. En caso de que no se pueda realizar la

comparación, no se podrá utilizar la toma de decisión multicriterio; por otro lado, si se puede llegar a hacer la comparación se deberá proceder con el siguiente paso.

A continuación, se determinará si los criterios de decisión empleados para la evaluación de variables tendrán diferentes pesos, con la finalidad de ramificar las posibles herramientas que se pueden utilizar en estos casos. En el siguiente paso, se determinará si las ponderaciones de los criterios serán expresadas de forma cualitativa o cuantitativa, ya que el tomador de decisión puede expresar la importancia del criterio de forma precisa, en caso contrario al expresar la ponderación de forma cualitativa la importancia del criterio es expresado de forma ordenada.

El cuarto paso, permitirá analizar si las ponderaciones de los criterios de decisión serán determinados por comparación de pares en caso contrario se tendrá que emplear otro tipo de método.

El último paso, se analizará si la comparación de los criterios de evaluación se realizará de forma cuantitativa (en números) o en una escala cualitativa (mejor, malo, igual). Este paso se encuentra relacionado con de forma directa con el paso 1, aunque los pasos 2, 3 y 4 son independientes porque resultan de ellos mismos por el hecho que si los pesos de los criterios son usados (Paso 2), ellos pueden ser expresados cuantitativamente (Paso 3) por comparación de pares (Paso 4). En relación con el Paso 1 y 5, cuando todas las variantes son comparadas respecto a todas las variables (Paso 1), entonces aquella comparación deberá ser presentada en una escala cuantitativa (Paso 5).



Con la los criterios definidos y el método multicriterio seleccionado se procede a Evaluar las alternativas de acuerdo a los criterios de decisión.

4.5.6 Evaluación de las alternativas de acuerdo a los criterios de decisión

La metodología para la evaluación de los planes de eficiencia energética será la combinación de los métodos de toma de decisión multicriterio AHP-TOPSIS, la cual presenta Hanine et al. (2016). Los pasos propuestos por el autor, son los siguientes (**Figura 4-3**):

Construcción del modelo jerárquico de decisión para el problema. Con el objetivo de seleccionar la medida de eficiencia energética que mayor beneficio presente a la organización, se construirá el modelo jerárquico de decisión para el problema, el cual presentará en su parte superior el objetivo de la decisión, en la parte intermedia los criterios de toma de decisión y en su parte inferior las alternativas de las medidas para la eficiencia energética.

Determinación de la matriz de comparación de criterios utilizando la técnica AHP, para obtener la ponderación local de cada criterio. Se empleará la técnica AHP, presentada en el apartado de Métodos de toma de decisión multicriterio, para la ponderación de los criterios de decisión que se utilizarán para la selección de la medida de eficiencia energética.

El método multicriterio TOPSIS será utilizado para evaluar las alternativas donde el más apropiado puede ser fácilmente seleccionado. El procedimiento matemático para llevar a cabo la toma de decisión se ha presentado en la sección de Métodos de toma de decisión multicriterio.

Seleccionar la mejor alternativa de los proyectos de eficiencia energética. Con base en los resultados de la evaluación de las alternativas, se presentará un ranking de las medidas analizadas, el cual servirá para poder tomar la decisión de la implementación de los proyectos de eficiencia energética.

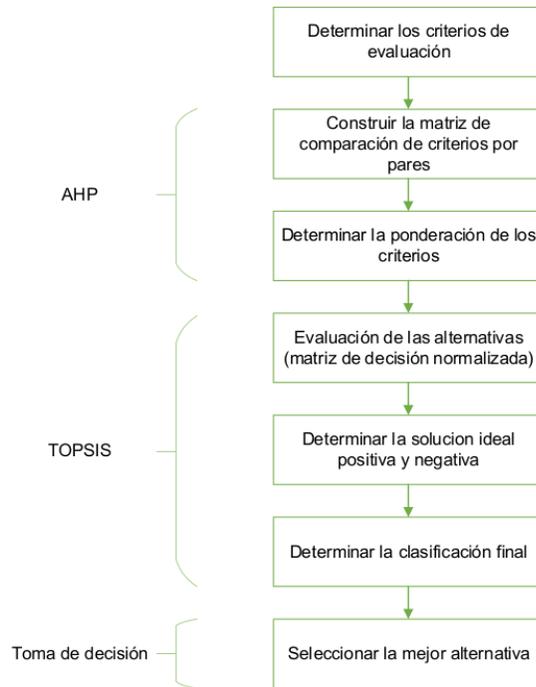


Figura 4-3 Metodología AHP-TOPSIS. Fuente: Hanine et al. (2016)

V. RESULTADOS

5.1 Caso de estudio: Selección de medidas de eficiencia energética para una empresa de manufactura de vidrio

La empresa objeto de estudio es una empresa mexicana que gracias a su capacidad de producción, innovación y tecnología de punta se ha colocado como la compañía líder en el mercado de manufacturas de vidrio a lo largo de los últimos 50 años. Cuenta con plantas industriales y oficinas en varias ciudades del sureste mexicano; su mercado abarca todo México, Norteamérica, Centroamérica y el Caribe.

Su principal objetivo es satisfacer plenamente las necesidades de sus clientes, ofreciéndoles productos de vidrio con estándares máximos de calidad, así como un servicio consistente e innovador. Cubriendo los mercados inmobiliario, comercial, hotelero, hospitalario y residencial, donde se requiere desde un vidrio básico hasta fachadas con alta especialidad en ingeniería, arquitectura y diseño.

En la empresa, se maquila vidrio, templado, laminado, insulado, serigrafiado con impresión digital entre otros, todo esto a medida y requerimiento del cliente, con acabados de primera calidad gracias a la maquinaria especializada con tecnología de punta y con procesos certificados en México y los EE.UU.

La empresa, cuyo energético principal en sus actividades es la energía eléctrica, ante los altos costos del energético ha realizado acciones para disminuir el impacto de estos incrementos; sin tener hasta el momento los resultados que se habían deseado, debido a que se han realizado acciones de forma aislada sin una guía que ataque el problema de forma sistemática y sin un seguimiento a las medidas aplicadas. De igual forma, no se han determinado de manera puntual los lugares o equipos donde se presentan problemas energéticos (picos de consumo, bajones de corriente, etc...), atacando únicamente puntos generales de la empresa como el sistema de iluminación y los aires acondicionados.

Es por ello, que se llevó a cabo la implementación del marco metodológico presentado en el documento, teniendo como objeto de estudio a la empresa de

manufactura de vidrio, con el afán de apoyar en la selección de la medida de eficiencia energética que mayor beneficio le traiga a la organización.

Siguiendo lo propuesto en el marco metodológico, se realizó como primera instancia, una revisión energética del objeto de estudio. Donde se analizaron el consumo y facturación de la energía eléctrica utilizada en la planta del periodo de los meses de marzo a agosto del año 2018 y la demanda energética de las áreas de producción de la empresa.

5.1.1 Análisis energético

La empresa, cuenta como energético principal para la realización de sus actividades productivas el uso de la energía eléctrica. Esta es suministrada por el único agente encargado de la generación, transmisión y suministro de la energía eléctrica en México, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), mediante un contrato con una tarifa de Gran Demanda en Media Tensión horaria (GDMTH), la cual es suministrada a industrias con una demanda igual o mayor a 100 kW.

Durante el periodo comprendido de los meses de marzo a agosto de 2018 la empresa presento el siguiente comportamiento en el consumo (**Figura 5-1**) y monto pagado por el concepto de su consumo energético (**Figura 5-2**).

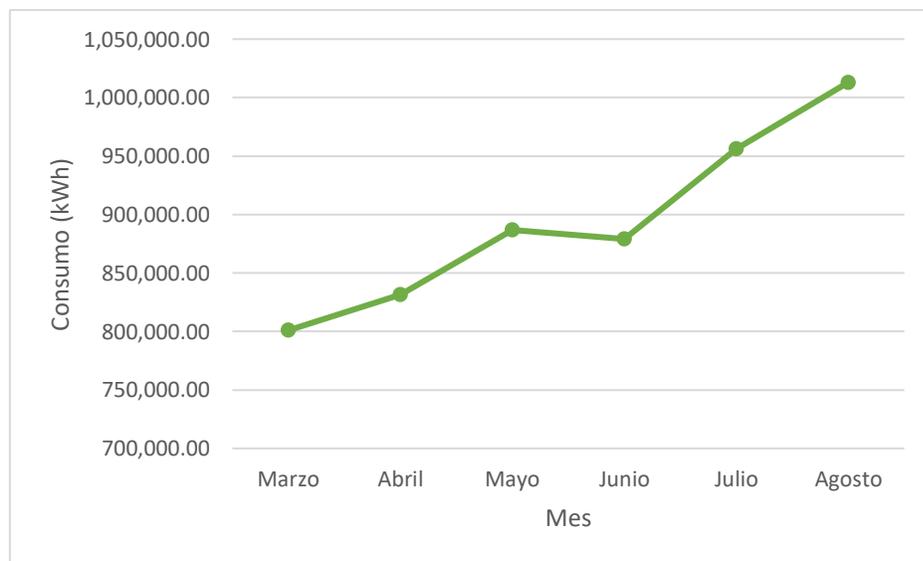


Figura 5-1 Consumo (kWh) facturado de marzo a agosto de 2018.

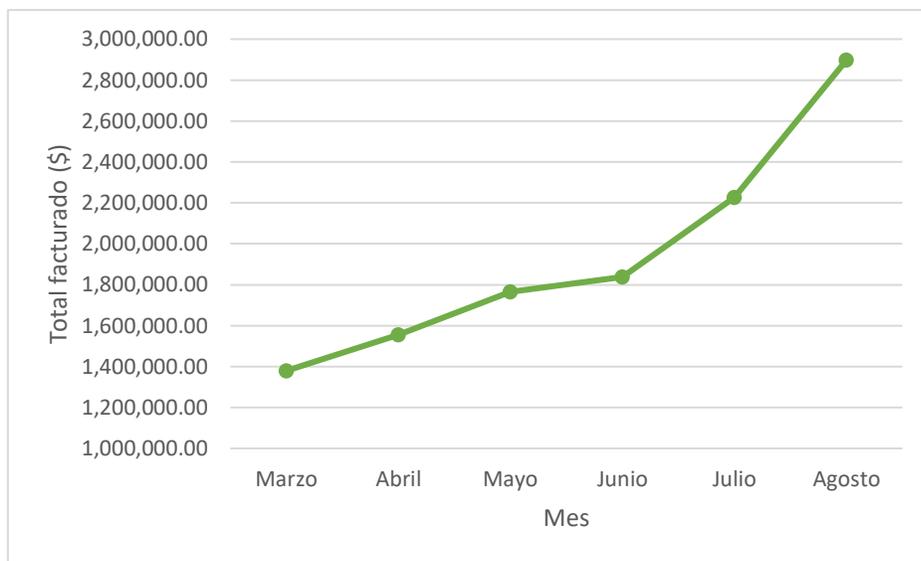


Figura 5-2 Monto pagado (\$) por concepto de consumo energético de marzo a agosto de 2018.

De acuerdo con las características de la tarifa contratada por la empresa, se observó el comportamiento de la demanda (**Figura 5-3**) y consumo energético (**Figura 5-4**).

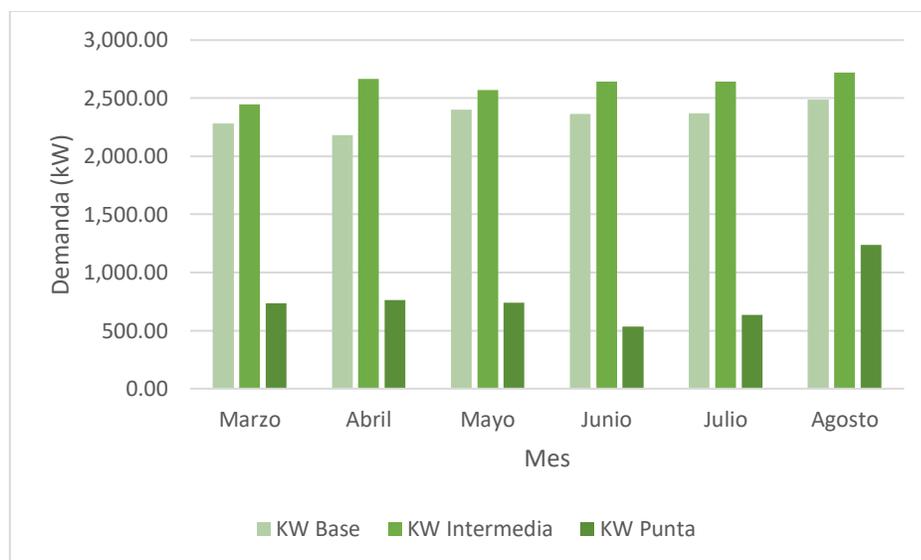


Figura 5-3 Demanda facturada (kW) de acuerdo con los periodos de punta, intermedio y base de marzo a agosto de 2018.

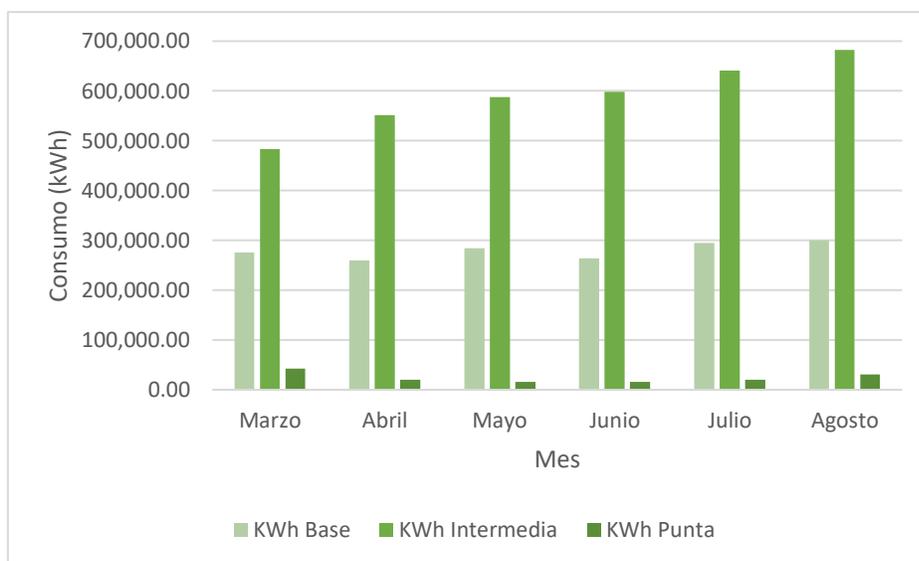


Figura 5-4 Consumo facturado (kWh) de acuerdo con los periodos de punta, intermedio y base de marzo a agosto de 2018.

5.1.2 Identificación de áreas

La empresa cuenta con trece áreas de producción de las cuales ocho son procesos básicos en el trabajo del vidrio, procesos que son necesarios en el trabajo del vidrio, mientras que los otros cinco son procesos que aumentan el valor añadido de los productos. Dichas áreas son (**Cuadro 5-1**):

Cuadro 5-1 Clasificación de los procesos de producción de la empresa.

Basicos	Valor añadido
Corte	Templado
Canteado	Laminado
Acabados	Serigrafía Digital
Barreno Manual	Serigrafía
Esmerilado	Insulado Automático
Barrenos Automático	Curvado
Filo Muerto	

Habiendo identificado las áreas de producción, se realizó un análisis de la demanda por área (**Cuadro 5-2**), mediante el cálculo con base en un informe proporcionado por el jefe de mantenimiento, el cual contenía información referente con los datos energéticos de las placas de las máquinas que se encontraban en dichas áreas. De igual manera, por medio de esa información se realizó el cálculo del consumo

energético mediante la multiplicación de la demanda por las horas promedio trabajadas durante el periodo de marzo a agosto de 2018, las cuales fueron 20.33 horas (**Cuadro 5-2**).

Cuadro 5-2 Demanda y consumo de la energía eléctrica por área de producción.

Área	Demanda (kW)	Consumo (kWh)
Templado	6683.70	135879.60
Laminado	1391.30	28285.17
Canteado	358.04	7278.93
Serigrafía Digital	227.70	4629.14
Serigrafía	152.77	3105.77
Insulado Automático	136.40	2773.01
Curvado	132.00	2683.56
Filo Muerto	118.25	2404.02
Barrenos Automático	53.44	1086.39
Corte	49.36	1003.43
Acabados	46.97	954.90
Barreno Manual	12.54	254.94
Esmerilado	3.08	62.62
	9365.54	190401.49

Con base en el cálculo del consumo energético de las áreas, se procedió a realizar una gráfica de Pareto para determinar el área de mayor consumo del proceso productivo (**Figura 5-5**).

5.1.3 Medidas

Posteriormente, se procedió a la identificación de las Medidas de Eficiencia Energética (MEE). Como parte del caso de estudio, las medidas identificadas son basadas en los planes generados en las intervenciones de la aplicación de sistemas de gestión energéticas del proyecto piloto Introducción a la Eficiencia Energética y Sistemas de Gestión de la Energía en Pymes de México de la CONUEE (Mendoza-Barrón, Prem, & Wendt, 2017), de las cuales se realizó la selección de proyectos que tengan un impacto en el aumento de la eficiencia de la energía eléctrica de las empresas (**Cuadro 5-3**).

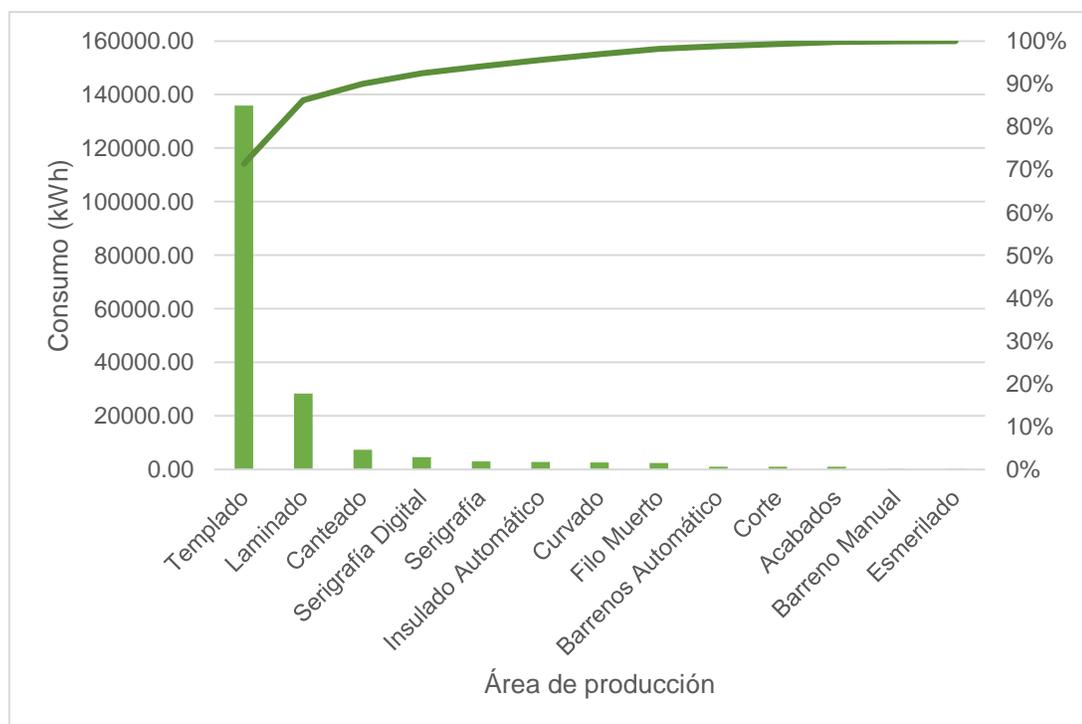


Figura 5-5 Diagrama de Pareto del consumo energético (kWh) por área de producción.

Cuadro 5-3 Medidas de Eficiencia Energética. Fuente: Mendoza-Barrón et al. (2017)

Referencia	Nombre de la medida
MEE1	Proyecto de instalación de paneles
MEE2	Implementación de sistemas eficientes en aire comprimido
MEE3	Implementación de sistemas eficientes en iluminación
MEE4	Reconfiguración del sistema de distribución de aire soplado
MEE5	Adaptación del control operacional para mejorar el aprovechamiento
MEE6	Recuperación de calor de desecho del evaporador
MEE7	Horno de Inducción
MEE8	Cambios de procesos y comunicación con clientes

5.1.4 Criterios

Los criterios para la toma de decisión de las medidas de eficiencia energética fueron seleccionados de tal forma que brinden el soporte necesario en ámbitos económicos, ambientales y energéticos. Los criterios seleccionados fueron:

- Porcentaje de ahorro energético.

- Ahorro de energía anual.
- Emisiones de GEI evitadas.
- Ahorro económico anual.
- Inversión necesaria.
- Tiempo de amortización.

En este caso de estudio, las medidas seleccionadas anteriormente presentaban en sus reportes (**Anexo I**), información referente a los criterios para la calificación de las medidas de estudio (**Cuadro 5-4**).

Cuadro 5-4 Criterios de evaluación de las MEE. Fuente: Mendoza-Barrón et al. (2017)

	Ahorro energético (%)	Reducción GEI (Kg CO ₂)	Ahorro anual económico (\$)	Ahorro anual energético (kWh)	Inversión necesaria (\$)	Tiempo de amortización (años)
MEE1	4.00	124,110.00	\$281,826.00	190,938.00	\$1,597,553.00	5.70
MEE2	16.00	133,300.00	\$277,822.00	205,080.00	\$200,000.00	0.75
MEE3	20.00	166,110.00	\$566,304.00	255,555.00	\$812,348.00	1.50
MEE4	6.00	380.00	\$940,236.00	775,008.00	\$263,004.00	0.33
MEE5	3.33	132,765.71	\$470,000.00	344,846.00	\$0.00	0.00
MEE6	5.32	567,652,000.00	\$1,238,580.00	3,132,621.00	\$450,000.00	0.36
MEE7	77.70	0.00	\$293,598.00	191,904.00	\$630,000.00	2.10
MEE8	18.50	104,270.67	\$459,504.00	534,305.93	\$0.00	0.00

5.1.5 Herramienta de selección

Siguiendo el diagrama de flujo para la selección de las herramientas de toma de decisión anteriormente descrito, se llevó a cabo el recorrido de este para determinar la herramienta a utilizar en el análisis de las MEE.

Como primer paso se observó que, si existe la posibilidad de comparar cada una de las alternativas con todos los criterios, por lo que sí se pudo utilizar herramientas de toma de decisión multicriterio para atacar el problema. Posteriormente se determinó que los criterios de decisión tendrán diferentes pesos de acuerdo a las características del objeto de estudio, por lo que permitió reducir el número de herramientas que se podían utilizar. Siguiendo con el diagrama, se estableció que el peso de los criterios sería de forma cuantitativa reduciendo así las posibilidades de las herramientas.

Habiendo llegado a este punto, se determinó que las ponderaciones de los criterios deberían estar basados en la opinión del personal que se encuentra a cargo de los

temas relacionados con la gestión de la energía eléctrica, debido a que dichos individuos deben conocer la situación energética y el interés que se presenta en la organización acerca de estos temas. En el caso del análisis de las alternativas, estos iban a ser estudiados de forma matemática ya que presentaban en cada criterio valores cuantitativos, permitiendo un mayor control con herramientas sin problemas de escalas.

La herramienta que permite cubrir estos parámetros y el cual fue utilizado en este estudio fue la combinación del AHP y TOPSIS, teniendo como herramienta de ponderación de criterios al AHP y como herramienta de decisión al TOPSIS.

5.1.6 AHP-TOPSIS

La última etapa del marco metodológico presentado, es la calificación de las alternativas el cual se realizó mediante la aplicación de la herramienta de toma de decisión multicriterio AHP-TOPSIS, cuyo procedimiento se llevó a cabo de la siguiente forma:

Como primer paso, se construyó el diagrama jerárquico de decisión, cuyo en primer nivel se encuentra el objetivo o meta a alcanzar con la resolución del problema, en segundo nivel los criterios de decisión y en la parte inferior o tercer nivel, se localizó las medidas de eficiencia energética que servirán de alternativas en el estudio de toma de decisión (**Figura 5-6**).

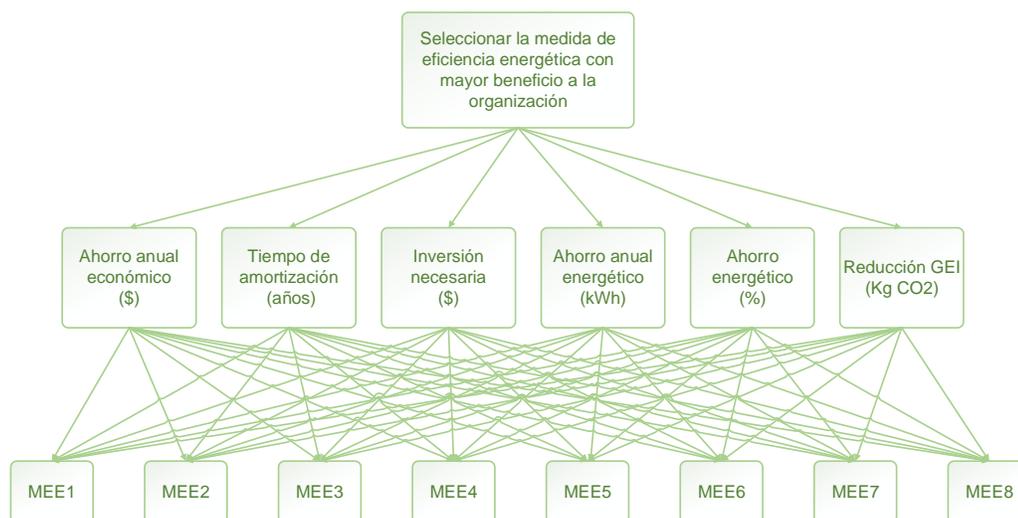


Figura 5-6 Modelo jerárquico de decisión del problema.

Siguiendo los pasos de la herramienta AHP, se procedió con la ponderación de los criterios. Por tal motivo se realizó una serie de entrevistas que fueron conducidas de acuerdo con la escala de Saaty al personal de la empresa que se encarga de los temas relacionados a la gestión de la energía eléctrica, estos fueron de diferentes áreas de la organización pero que en conjunto toman decisiones acerca de estos temas.

El personal seleccionado, son de las áreas de administración, producción y proyectos de mejora continua; los cuales, de acuerdo con su experiencia y responsabilidades en la empresa, respondieron las preguntas para la comparación por pares de los criterios de toma de decisión (**Anexo II**). A partir de las respuestas de dichas preguntas se elaboraron tres matrices con las opiniones del personal entrevistado (**Figura 5-7, 5-8, 5-9**).

Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tiempo de amortización (años)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Inversión necesaria (\$)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro anual energético (kWh)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Inversión necesaria (\$)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro anual energético (kWh)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Inversión necesaria (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro anual energético (kWh)
Inversión necesaria (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Inversión necesaria (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Ahorro anual energético (kWh)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Ahorro anual energético (kWh)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Ahorro energético (%)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)

Figura 5-7 Matriz de respuesta de preferencia del participante 1.

Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tiempo de amortización (años)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Inversión necesaria (\$)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro anual energético (kWh)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Inversión necesaria (\$)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro anual energético (kWh)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Inversión necesaria (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro anual energético (kWh)
Inversión necesaria (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Inversión necesaria (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Ahorro anual energético (kWh)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Ahorro anual energético (kWh)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Ahorro energético (%)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)

Figura 5-8 Matriz de respuesta de preferencia del participante 2.

Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tiempo de amortización (años)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Inversión necesaria (\$)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro anual energético (kWh)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Inversión necesaria (\$)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro anual energético (kWh)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Inversión necesaria (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro anual energético (kWh)
Inversión necesaria (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Inversión necesaria (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Ahorro anual energético (kWh)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Ahorro anual energético (kWh)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Ahorro energético (%)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)

Figura 5-9 Matriz de respuesta de preferencia del participante 3.

Como siguiente paso, se construyó la matriz por comparación de pares de los criterios (**Cuadro 5-5**), la cual fue elaborada de acuerdo a un resumen de las preferencias recabadas de las opiniones de los expertos (**Figura 5-10**).

Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tiempo de amortización (años)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Inversión necesaria (\$)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro anual energético (kWh)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Ahorro anual económico (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Inversión necesaria (\$)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro anual energético (kWh)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Tiempo de amortización (años)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Inversión necesaria (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro anual energético (kWh)
Inversión necesaria (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Inversión necesaria (\$)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Ahorro anual energético (kWh)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ahorro energético (%)
Ahorro anual energético (kWh)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)
Ahorro energético (%)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reducción GEI (Kg CO2)

Figura 5-10 Matriz de respuesta de preferencia del tomador de decisión.

Posteriormente, se normalizó la matriz y se obtuvo su vector prioridad (**Cuadro 5-6**). La matriz normalizada y el vector prioridad fueron analizados con el cálculo del coeficiente de consistencia, para determinar que el resultado obtenido en el vector prioridad, se encuentra o no dentro del rango de aceptación, en este caso el resultado del coeficiente de consistencia fue menor a 0.10, por lo que es aceptable.

Cuadro 5-5 Matriz de comparación de criterios.

CRITERIOS	Ahorro anual económico (\$)	Tiempo de amortización (años)	Inversión necesaria (\$)	Ahorro anual energético (kWh)	Ahorro energético (%)	Reducción GEI (Kg CO2)
Ahorro anual económico (\$)	1	3	4	5	7	8
Tiempo de amortización (años)	0.333333333	1	4	5	6	8
Inversión necesaria (\$)	0.25	0.25	1	2	5	7
Ahorro anual energético (kWh)	0.2	0.2	0.5	1	4	6
Ahorro energético (%)	0.142857143	0.166666667	0.2	0.25	1	3
Reducción GEI (Kg CO2)	0.125	0.125	0.142857143	0.166666667	0.333333333	1

Cuadro 5-6 Matriz normalizada y vector prioridad.

CRITERIOS	Ahorro anual económico (\$)	Tiempo de amortización (años)	Inversión necesaria (\$)	Ahorro anual energético (kWh)	Ahorro energético (%)	Reducción GEI (Kg CO2)	VECTOR PRIORIDAD		
Ahorro anual económico (\$)	0.4875	0.6327	0.4064	0.3727	0.3000	0.2424	0.4069		
Tiempo de amortización (años)	0.1625	0.2109	0.4064	0.3727	0.2571	0.2424	0.2753		
Inversión necesaria (\$)	0.1219	0.0527	0.1016	0.1491	0.2143	0.2121	0.1419		
Ahorro anual energético (kWh)	0.0975	0.0422	0.0508	0.0745	0.1714	0.1818	0.1030		
Ahorro energético (%)	0.0696	0.0351	0.0203	0.0186	0.0429	0.0909	0.0463		
Reducción GEI (Kg CO2)	0.0609	0.0264	0.0145	0.0124	0.0143	0.0303	0.0265		
Datos	6	Amax	6.58	CI	0.12	RI	1.24	CR	0.09419
									1.0000

Al finalizar con la etapa de AHP de la herramienta AHP-TOPSIS, se obtuvo las ponderaciones para cada uno de los criterios, dando como resultado (**Cuadro 5-7**):

Cuadro 5-7 Ponderación de los criterios de decisión.

Criterio	Ahorro anual económico (\$)	Tiempo de amortización (años)	Inversión necesaria (\$)	Ahorro anual energético (kWh)	Ahorro energético (%)	Reducción GEI (Kg CO2)
Peso	0.4069	0.2753	0.1419	0.1030	0.0463	0.0265

Una vez obtenido lo anterior, se procedió con la creación de la matriz de decisión (**Cuadro 5-8**) que sirvió para la sección de la herramienta TOPSIS, la cual contiene la información referente a los criterios de las medidas seleccionadas (**Cuadro 5-4**) y las ponderaciones obtenidas con la herramienta AHP (**Cuadro 5-7**).

Posteriormente, se inició la herramienta TOPSIS con la normalización de la matriz de decisión (**Cuadro 5-9**). Después se continuó con la ponderación de la matriz de decisión normalizada (**Cuadro 5-10**). Con lo anterior, se calculó los valores ideales positivos y negativos (**Cuadro 5-11**).

El siguiente paso, consistió en la determinación de los valores de las distancias de cada criterio a la solución ideal positiva y negativa (**Cuadro 5-12**). Con las cuales se estimó la proximidad de las medidas con respecto a la solución ideal y se asignó con base a esta estimación la prioridad de las medidas analizadas (**Cuadro 5-13**).

Con los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología AHP-TOPSIS, se llevó a cabo la construcción de la gráfica de los puntos de la distancia de la solución positiva y negativa en un plano cartesiano, la cual se representa de forma gráfica las prioridades de las alternativas (**Figura 5-11**).

Cuadro 5-8 Matriz de decisión.

	Ahorro anual económico (\$)	Tiempo de amortización (años)	Inversión necesaria (\$)	Ahorro anual energético (kWh)	Ahorro energético (%)	Reducción GEI (Kg CO2)
Peso	0.4069	0.2753	0.1419	0.1030	0.0463	0.0265
MEE1	281,826.00	5.70	1,597,553.00	190,938.00	4.00	124,110.00
MEE2	277,822.00	0.75	200,000.00	205,080.00	16.00	133,300.00
MEE3	566,304.00	1.50	812,348.00	255,555.00	20.00	166,110.00
MEE4	940,236.00	0.33	263,004.00	775,008.00	6.00	380.00
MEE5	470,000.00	0.00	0.00	344,846.00	3.33	132,765.71
MEE6	1,238,580.00	0.36	450,000.00	3,132,621.00	5.32	567,652,000.00
MEE7	293,598.00	2.10	630,000.00	191,904.00	77.70	0.00
MEE8	459,504.00	0.00	0.00	534,305.93	18.50	104,270.67

Cuadro 5-9 Matriz de decisión normalizada con la ponderación de los criterios.

	Ahorro anual económico (\$)	Tiempo de amortización (años)	Inversión necesaria (\$)	Ahorro anual energético (kWh)	Ahorro energético (%)	Reducción GEI (Kg CO2)
Peso	0.4069	0.2753	0.1419	0.1030	0.0463	0.0265
MEE1	0.1525	0.9018	0.8068	0.0576	0.0474	0.0002
MEE2	0.1504	0.1187	0.1010	0.0618	0.1895	0.0002
MEE3	0.3065	0.2373	0.4103	0.0771	0.2369	0.0003
MEE4	0.5089	0.0527	0.1328	0.2337	0.0711	0.0000
MEE5	0.2544	0.0000	0.0000	0.1040	0.0394	0.0002
MEE6	0.6704	0.0573	0.2273	0.9446	0.0630	1.0000
MEE7	0.1589	0.3322	0.3182	0.0579	0.9204	0.0000
MEE8	0.2487	0.0000	0.0000	0.1611	0.2191	0.0002

Cuadro 5-110 Matriz de decisión normalizada ponderada.

	Ahorro anual económico (\$)	Tiempo de amortización (años)	Inversión necesaria (\$)	Ahorro anual energético (kWh)	Ahorro energético (%)	Reducción GEI (Kg CO2)
MEE1	0.0621	0.2483	0.1145	0.0059	0.0022	0.00000579
MEE2	0.0612	0.0327	0.0143	0.0064	0.0088	0.00000622
MEE3	0.1247	0.0653	0.0582	0.0079	0.0110	0.00000775
MEE4	0.2071	0.0145	0.0189	0.0241	0.0033	0.00000002
MEE5	0.1035	0.0000	0.0000	0.0107	0.0018	0.00000619
MEE6	0.2728	0.0158	0.0323	0.0973	0.0029	0.02647119
MEE7	0.0647	0.0915	0.0452	0.0060	0.0426	0.00000000
MEE8	0.1012	0.0000	0.0000	0.0166	0.0101	0.00000486

Cuadro 5-101 Soluciones ideales positivos y negativos.

	Ahorro anual económico (\$)	Tiempo de amortización (años)	Inversión necesaria (\$)	Ahorro anual energético (kWh)	Ahorro energético (%)	Reducción GEI (Kg CO2)
	Max	Min	Min	Max	Max	Max
A+	0.2728	0.0000	0.0000	0.0973	0.0426	0.02647119
A-	0.0612	0.2483	0.1145	0.0059	0.0018	0.00000000

Cuadro 5-12 Distancias de las soluciones ideales positivas y negativas de cada alternativa.

	d+	d-
MEE1	0.3604	0.0010
MEE2	0.2370	0.2379
MEE3	0.1982	0.2019
MEE4	0.1118	0.2923
MEE5	0.1963	0.2767
MEE6	0.0535	0.3386
MEE7	0.2506	0.1763
MEE8	0.1942	0.2767

Cuadro 5-13 Índice de proximidad relativa y clasificación de las alternativas.

	Ri	Clasificación
MEE1	0.0026	8
MEE2	0.5009	6
MEE3	0.5046	5
MEE4	0.7234	2
MEE5	0.5851	4
MEE6	0.8636	1
MEE7	0.4130	7
MEE8	0.5876	3

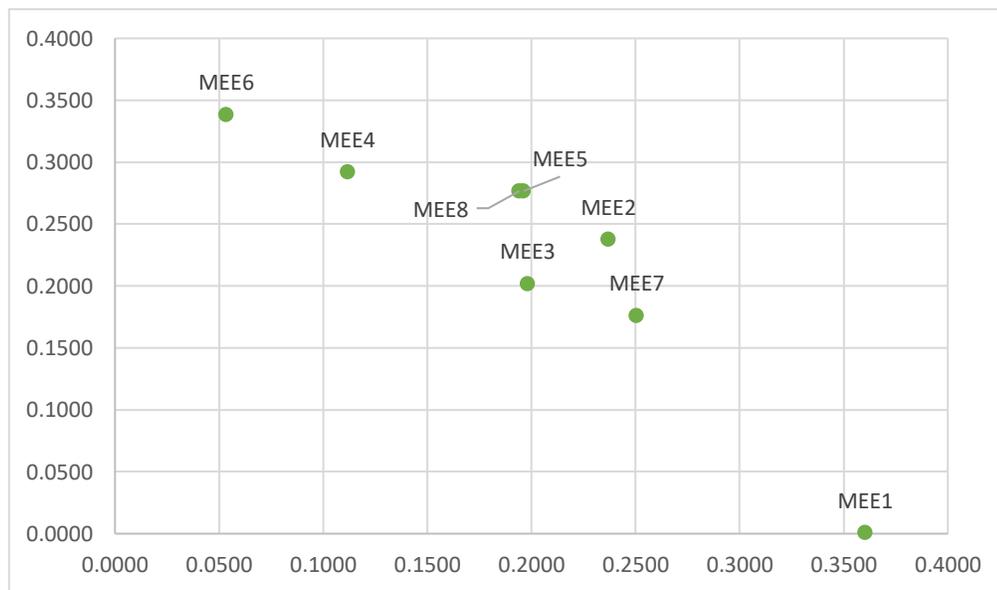


Figura 5-11 Clasificación de las MEE evaluadas.

VI. DISCUSIONES

Durante el periodo comprendido de los meses de marzo a agosto de 2018 la empresa presento un incremento en monto cobrado en su consumo energético (**Figura 5-2**), esto debido a que se presentó un aumento en las horas de producción pasando de 18 horas y media a 24 horas al día en los últimos dos meses del estudio, según con la información proporcionada por el gerente de producción.

De tal forma al presentarse un aumento de producción ocasionó que se presentara un aumento significativo en la demanda (**Figura 5-3**) y consumo energético (**Figura 5-4**) de la empresa que, junto al aumento en la tarifa de la energía eléctrica, dio como resultado que el costo que se pagaba por el energético se disparará. Cabe señalar que los periodos horarios de facturación se encuentran regidos por los siguientes horarios.

Con la construcción del diagrama de Pareto (**Figura 5-5**), se observó que la principal área de consumo es el área de Templado donde se encuentra el 80% del consumo energético de la planta de producción y el resto de las áreas en conjunto representan el 20%. Lo cual señala que esta área es un punto de referencia para mejorar la eficiencia energética de la empresa.

Los criterios para la evaluación de las alternativas, fueron seleccionados a partir de una revisión bibliográfica de estudios referentes a medidas de eficiencia energética, ahorro de energía y energía renovable. Los cuales en la mayoría de los casos tenían los criterios seleccionados o en su caso adaptaciones de los mismos de acuerdo a las características de sus casos de estudio.

Analizando la gráfica obtenida (**Figura 5-11** Clasificación de las MEE evaluadas. de la aplicación de la herramienta AHP-TOPSIS para la selección de MEE, se pudo observar que la medida seleccionada como la opción más adecuada para la empresa, fue la medida MEE6, debido a que los parámetros de los criterios de decisión tienen un mejor desempeño en comparación con las demás medidas analizadas, lo cual se ve reflejado en su índice de proximidad relativa de 0.8636 siendo la más alta entre las demás alternativas. Como segunda opción se encuentra la medida MEE4 con un índice de proximidad relativa de 0.7234, la cual, aunque se

podiese observar que sería la mejor opción ya que en la mayoría de los criterios se encuentran parámetros muy favorables, mientras que en otros tienen un comportamiento ligeramente inferior a la primera alternativa. En el caso de las medidas MEE5 y MEE8 se tiene una ligera similitud con índices de proximidad relativa de 0.5451 y 0.5876 respectivamente y cuya distancia a la solución ideal negativa es la misma mientras que en la distancia a la solución ideal positiva la medida MEE5 presenta un valor mayor que la medida MEE8. Las medidas MEE2 y MEE3 se encuentran ubicadas en la quinta y sexta posición de la clasificación de las medidas esto debido a que su índice de proximidad relativa 0.5009 y 0.5046 respectivamente. La penúltima medida MEE7 con 0.4130 de su índice de proximidad relativa, se encuentra en una posición donde se aleja de las medidas con mejor desempeño y en último lugar encontramos la medida MEE1 la cual tiene el peor desempeño en comparación con las demás medidas analizadas con un índice de proximidad relativa de 0.0026, la cual no sería recomendable realizar o se necesitaría una mejor planeación de la medida.

VII. CONCLUSIONES

Se desarrolló un marco metodológico que abarca desde la identificación de las MEE mediante una revisión energética a las instalaciones, la aplicación de un proceso metodológico de toma de decisión multicriterio, AHP-TOPSIS, el cual permitió el análisis de las MEE a través de la combinación de las preferencias de los miembros de la organización y las características cuantitativas de las medidas y finalmente, se seleccionó la MEE que de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis multicriterio es la que mejor se apega a las preferencias de la organización.

VIII. RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones que se llegan a desprender de caso de estudio y con base a lo observado a lo largo de la elaboración de la investigación, se encuentran:

- Se recomienda llevar a cabo una revisión energética en las instalaciones de la organización para poder identificar de forma más detallada la demanda, sus consumos reales y poder generar las medidas de acción para cada una de ellas.
- La creación de un grupo asignado a la vigilancia, evaluación y seguimiento de los temas relacionados a la energía, ya sea como un departamento nuevo o con la asignación de personal de distintas áreas de la organización.
- La creación de un plan general energético, el cual se deberá desarrollar a partir de los resultados de la revisión energética que se lleve a cabo y la filosofía de la organización.
- A largo plazo la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn), con la cual se pretenda formalizar los esfuerzos de la organización para procurar una gestión integral de la energía.

IX. TRABAJOS PRÓXIMOS

Como trabajos posteriores y siguiendo la línea de investigación, se han presentado las oportunidades de la integración de análisis de riesgo e incertidumbre que se pueden presentar con las ponderaciones de los criterios y en ambiente externo de las organizaciones, ya que al presentarse las preferencias de los participantes claves y situaciones externas a la empresa es necesario disminuir el efecto que estos tengan al momento de tomar una decisión.

Siguiendo con el uso de la herramienta multicriterio AHP-TOPSIS, el cálculo realizado de la distancia de las soluciones positivas y negativas en la etapa del TOPSIS, puede volverse más robusto en caso de cambiar el cálculo de la distancia euclidiana por algún otro tipo de cálculo por ejemplo la distancia de Mahalanobis.

De igual forma la aplicación de métodos de decisión Fuzzy, lo que permitiría tener un estudio que refleje un proceso de decisión mejor adaptado al mundo real y donde se pudiese integrar diversas categorías de criterios de decisión, para incrementar el soporte al momento de tomar una decisión.

.

.

X. REFERENCIAS

- AChEE, & Limitada, I. P. (2014). *Guía Metodológica de Eficiencia Energética en Proyectos de Inversión* (Primera ed). (M. Recabarren & P. P. Torres, Eds.). Agencia Chilena de Eficiencia Energética.
- Amine, M. El, Pailhes, J., Perry, N., & El, M. (2016). Selection and use of a multi-criteria decision aiding method in the context of conceptual design with imprecise information: Application to a solar collector development, 24(1), 35–47. <https://doi.org/10.1177/1063293X15613838>
- Banihabib, M. E., & Shabestari, M. H. (2017). DECISION MODELS FOR THE RANKING OF AGRICULTURAL WATER DEMAND MANAGEMENT STRATEGIES IN AN ARID REGION, 1–11. <https://doi.org/10.1002/ird.2171>
- Belton, V., & Stewart, T. (2002). *MULTIPLE CRITERIA DECISION An Integrated Approach* *MULTIPLE CRITERIA DECISION An Integrated Approach*. Kluwer Academic Publishers.
- Bermúdez, J. A. (2013). Central termoeléctrica. Retrieved November 25, 2018, from <http://centroderecursos.educarchile.cl/handle/20.500.12246/13701?show=full>
- Brunelli, M. (2015). *Introduction to the Analytic Hierarchy Process*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-12502-2>
- Capehart, B., Turner, W., & William, K. (2003). *Guide to Energy Management Fourth Edition* (Fourth). Lilbrun, GA: The Fairmont Press, Inc.
- Creara. (2012). *ISO 50001. SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA Requisitos ISO 50001:2011. Planificación*. Retrieved from https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/eficiencia_energetica/2planificacionenergetica.pdf
- de Laire, M. (2013). *Guía de Implementación de Sistema de Gestión de la Energía basada en ISO 50001*. (P. Leufuman, Ed.) (Tercera Ed). Agencia Chilena de Eficiencia Energética Guía.
- De Mello Santana, P. H., & Bajay, S. V. (2016). New approaches for improving

- energy efficiency in the Brazilian industry. *Energy Reports*, 2, 62–66. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2016.02.001>
- Dirección de Eficiencia Energética. (2011). *Metodología de Eficiencia Energética en la Industria*. Retrieved from <http://www.cne.gob.sv/wp-content/uploads/2017/09/metodologia-de-eficiencia-energetica-industria.pdf>
- Entorno, O. (2016). *La eficiencia energética en educación técnico profesional*. (P. Nummela, Ed.) (Cuarta). Retrieved from [http://www.ongentorno.cl/material/Publicaciones/GuiaApoyoDocente/1\) La eficiencia energética en educación técnico profesional.pdf](http://www.ongentorno.cl/material/Publicaciones/GuiaApoyoDocente/1) La eficiencia energética en educación técnico profesional.pdf)
- Flores, L., Escobosa, N., & Espinosa, L. (2016). *Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía* (Segunda). Ciudad de México: Connue y GIZ.
- Galindo, M. E. S. (2008). Programas de Eficiencia Energética en México. *Foro Sobre Energía Sostenible Para Centro y Norte América*. Retrieved from [http://www.oas.org/dsd/reep/documentos/Agenda_Foro sobre Energia Sostenible_ESP.pdf](http://www.oas.org/dsd/reep/documentos/Agenda_Foro_sobre_Energia_Sostenible_ESP.pdf)
- Guitouni, A., & Martel, J.-M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 501–521. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00073-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00073-3)
- Hanine, M., Boutkhoum, O., Tikniouine, A., & Agouti, T. (2016). Application of an integrated multi-criteria decision making AHP-TOPSIS methodology for ETL software selection. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1888-z>
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making* (Vol. 186). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- Loikkanen, O., Lahdelma, R., & Salminen, P. (2017). Multicriteria evaluation of sustainable energy solutions for Colosseum. *Sustainable Cities and Society*, 35(August), 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.019>

- Masanet, E., Therkelsen, P., & Worrell, E. (2012). *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Baking Industry and Energy Managers*. Retrieved from https://www.energystar.gov/sites/default/files/buildings/tools/Baking_Guide.pdf
- May, G., Stahl, B., Taisch, M., & Kiritsis, D. (2017). Energy management in manufacturing: From literature review to a conceptual framework. *Cleaner Production*, 167, 1464–1489. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.191>
- Mendoza-Barrón, L., Prem, R., & Wendt, S. (2017). *Memoria del Proyecto piloto. Introducción a la Eficiencia Energética y Sistemas de Gestión de la Energía en Pymes de México*. Ciudad de México. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/286688/Documento_Memoria_del_Proyecto_Piloto.pdf?fbclid=IwAR2dP0NGrzjpH21yU4Gvwa1UGZSET2hK9eBgqIMUAuNELT157i_GoniZxAo
- Mills, E., & Rosenfeld, A. (1996). Consumer non-energy benefits as a motivation for making energy-efficiency improvements. *Energy*, 21(7–8), 707–720. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442\(96\)00005-9](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442(96)00005-9)
- Mota, P., Campos, A. R., & Neves-Silva, R. (2013). *First Look at MCDM: Choosing a Decision Method*. Retrieved from <http://nimbusvault.net/publications/koala/assr/>
- Munda, G. (1995). *Multicriteria Evaluation in a Fuzzy Environment - Theory and Applications in Ecological Economics*.
- Polatidis, H., Haralambopoulos, D. A., & Vreeker, R. (2006). Selecting an Appropriate Multi-Criteria Decision Analysis Technique for Renewable Energy Planning. *Energy Sources, Part B*, 1, 181–193. <https://doi.org/10.1080/009083190881607>
- Rosaria Guarini, M., Battisti, F., & Chiovitti, A. (2018). A Methodology for the Selection of Multi-Criteria Decision Analysis Methods in Real Estate and Land Management Processes. <https://doi.org/10.3390/su10020507>

- Schneider Electric. (2010). Eficiencia Energética. *Schneider Electric*, 1–68. Retrieved from http://www.schneider-electric.com.ar/documents/solutions/catalogo_soluciones.pdf
- Schneider Electric. (2014). *Sistemas de medicion y contro para la mejora de la Eficiencia Energética*.
- Secretaría de Energía. (2014). *Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018*. (S. de Energía, Ed.) (Primera ed). Secretaría de Energía.
- Secretaría de Energía. (2017). Sistema de Información Energética. Retrieved July 14, 2017, from <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas&fromCuadros=true>
- Steinhilber, S., Isi, F., Toro, F., Ragwitz, M., Isi, F., Boie, I., & Isi, F. (2014). Design and impact of a harmonised policy for renewable electricity in Europe Multi-criteria Decision Analysis - Assessing policy pathways for renewables support in the EU after 2020 Authors :, 2020(February).
- Taha, R. A., & Daim, T. (2013). Multi-Criteria Applications in Renewable Energy Analysis , a Literature Review, 17–31. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5097-8>
- Trianni, A., Cagno, E., Marchesani, F., & Spallina, G. (2017). Classification of drivers for industrial energy efficiency and their effect on the barriers affecting the investment decision-making process. *Energy Efficiency*, 199–215. <https://doi.org/10.1007/s12053-016-9455-6>
- Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making-Methods and Application*.
- Wang, J., Jing, Y., Zhang, C., & Zhao, J. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy, 13, 2263–2278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.021>
- Wątróbski, J. (2016). Outline of Multicriteria Decision-making in Green Logistics.

Transportation Research Procedia, 16, 537–552.
<https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2016.11.051>

XENERGY, I. (2002). *United States Industrial Electric Motor Systems Market Opportunities Assessment*. Burlington MA. Retrieved from <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/mtrmkt.pdf>

Zagal León, J. R., & Ortega Solís, J. (2012). *El ahorro de energía, un beneficio económico para tu empresa*. México, D.F. Retrieved from www.gtz.de/mexico

XI. ANEXOS

11.1 Anexo I: Casos de éxito

11.1.1 Burndy Products México S. de R.L. de C.V.: Proyecto de instalación de paneles fotovoltaicos y cambio del alumbrado

Información de fondo

El desarrollo del proyecto piloto inicio con el taller introductorio a la ISO 50001:2011, en octubre de 2015. Posteriormente, las auditorías energéticas, identificando y priorizando varias oportunidades de mejora, con la orientación de consultores mexicanos expertos en eficiencia energética.

La empresa **Burndy Products México, S. de R.L. de C.V.** está ubicada en Toluca, Estado de México. Es especializada en la fabricación de conectores eléctricos de alta, media y baja tensión, y decidió sumarse a este proyecto para lograr implementar un sistema de gestión de recursos energéticos que le ayude a mejorar su productividad y disminuir sus costos operativos.

Descripción de la mejora

Actualmente **Burndy Products** ha identificado cuáles son sus usos significativos de la energía y las oportunidades de mejora de los mismos. Sin embargo, uno de los criterios para priorizar dichas oportunidades es el monto de inversión que requieren. Así entonces, ha decidido que los primeros proyectos a implementar, buscando la mejora continua de los procesos son:

1. Sustitución de lámparas de campana de aditivos metálicos por luminarias LED dentro de las oficinas como en la planta. De tal forma se obtendrá una disminución del 2% anual sobre el consumo eléctrico de la planta.
2. Interconexión de paneles fotovoltaicos. Se pretende instalar este sistema para cubrir un 2% del consumo total de energía eléctrica en la planta.

Ahorros obtenidos, resultados y beneficios adicionales

Principales Indicadores	
Ahorro energético total de planta	4%
Ahorro anual económico	MXN \$ 281 826
Ahorro anual energía	190 938 kWh
Inversión necesaria	MXN \$ 1 597 553
Tiempo de amortización	5.7 años
Reducción de gases de efecto invernadero	124 110 kg de CO ₂ eq.

Se destaca el uso de un SGEN para la recolección de información y la modificación para la mejora del desempeño energético, creando una cultura de aprovechamiento de los recursos, por consiguiente, dando más valor al producto.

11.1.2 Gelita México S. de R.L. de C.V.: Recuperación de calor de desecho del evaporado

Información de fondo

El desarrollo del proyecto piloto inicio con el taller introductorio a la ISO 50001:2011, en octubre de 2015. Posteriormente, las auditorías energéticas, identificando y priorizando varias oportunidades de mejora, con la orientación de consultores mexicanos expertos en eficiencia energética.

Una de las empresas participantes se llama **GELITA México S. de R.L. de C.V.** y se ubica en Lerma, Estado de México. Esta empresa produce grenetina para el sector alimenticio.

Descripción de la mejora

Uno de los procesos con mayor consumo de energía en la producción de grenetina es la evaporación de agua. La energía que se utiliza con este fin se libera al medio ambiente, a través de la torre de enfriamiento. El 38% del consumo total de combustible de la planta se destina a calentar agua.

El proyecto de mejora ya había sido detectado cuando se realizó la auditoria energética del proyecto piloto, y consiste en producir agua caliente, reutilizando una parte de la energía que se disipa en la torre de enfriamiento, en lugar de combustible. La documentación de este caso de éxito se llevó acabo como resultado del sistema de gestión de la energía que se está implementando con el proyecto piloto.

Ahorros obtenidos, resultados y beneficios adicionales

Principales Indicadores	
Ahorro energético total de planta	5.32%
Ahorro anual económico	MXN \$ 1 238 580
Ahorro anual de energía	3 132 621 kWh
Inversión necesaria	MXN \$ 450 000
Tiempo de amortización	4.35 meses
Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero	567 652 Ton CO ₂ eq. 198 673.16 Kg CH ₄ eq. 480 092 kg N ₂ O eq.

En este caso destaca el apoyo del sistema de gestión para documentar los ahorros energéticos debidos a la toma de decisiones de mejora, consecuentes al diagnóstico energético en el cual de manera estructurada y con base a la ISO 50001:2011, facilitara futuras inversiones para garantizar que el desempeño energético sea mayor, y con esto aumentar la confianza de la alta dirección en los proyectos.

11.1.3 Industrias Habers S.A. de C.V.: Implementación de sistemas eficientes en aire comprimido

Información de fondo

El desarrollo del proyecto piloto inició con el taller introductorio a la ISO 50001:2011, en octubre de 2015. Posteriormente, las empresas realizaron las revisiones energéticas, identificando y priorizando varias oportunidades de mejora, con la orientación de consultores mexicanos expertos en eficiencia energética.

La empresa **Industrias Habers S.A. de C.V.** es una empresa del ramo textil ubicada en el parque industrial de Santiago Tianguistenco, cien por ciento mexicana y que cuenta con más de 300 tiendas en todo el país y Guatemala; es parte importante en la rama de generación de trajes a nivel nacional. Siendo proveedores de empresas de prestigio como: IMSS, Palacio de Hierro, Banamex y Liverpool.

Descripción de la mejora

Industrias Habers cuenta con 3 compresores en operación, los cuales representan 45% de la facturación eléctrica de la subestación de 300 kVA, uno de 100 hp y dos de 50 hp, generan 970 CFM o 790 ACFM (22260 L/min) y un depósito de aire de 1300 litros. Sin embargo, el consumo de aire útil es de 335 ACFM (9400 L/min), por lo que más del 50% del aire producido se pierde por fugas y malos hábitos dentro de la planta.

Actualmente, tiene como plan de acción a corto plazo, la implementación de un sistema de red cerrada con el propósito de reducir considerablemente las pérdidas por desplazamiento, así como la conservación de la presión en las áreas de trabajo, además de dejar sólo como respaldo uno de los compresores con capacidad de 50 HP, con lo cual se ahorrará un 33% del consumo energético actual de los compresores.

Ahorros obtenidos, resultados y beneficios adicionales

Principales Indicadores	
Ahorro energético total de la planta	16%
Ahorro anual económico	MXN \$ 277 822
Ahorro anual de energía	205 080 kWh
Inversión necesaria	MXN \$ 200 000
Tiempo de amortización	9 meses
Reducción de gases de efecto invernadero	133 300 kg CO ₂

Cabe destacar que el análisis realizado en el transcurso de la auditoría energética y las conclusiones sirven como base para el análisis y posterior rediseño, así como la mejora del desempeño energético de un sistema existente.

11.1.4 Industrias Habers S.A. de C.V.: Implementación de sistemas eficientes en iluminación

Información de fondo

El desarrollo del proyecto piloto inició con el taller introductorio a la ISO 50001:2011, en octubre de 2015. Posteriormente, las empresas realizaron las revisiones energéticas, identificando y priorizando varias oportunidades de mejora, con la orientación de consultores mexicanos expertos en eficiencia energética.

La empresa **Industrias Habers S.A. de C.V.** es una empresa del ramo textil ubicada en el parque industrial de Santiago Tianguistenco, cien por ciento mexicana y que cuenta con más de 300 tiendas en todo el país y Guatemala; es parte importante en la rama de generación de trajes a nivel nacional. Siendo proveedores de empresas de prestigio como: IMSS, Palacio de Hierro, Banamex y Liverpool.

Descripción de la mejora

Industrias Habers cuenta con 3300 lámparas dentro de la planta general, cuyo consumo representa aproximadamente 27% de la facturación eléctrica de la empresa. Los sistemas son de tipo fluorescente, de 59 W, 32 W y 30 W, siendo de 59 W la gran mayoría, lo cual no solo incrementa la demanda de la planta, sino ocasiona un consumo importante de energía, además de los daños que generan los balastos electrónicos al generar problemas de armónicos dentro de la red eléctrica. Como medida de mejora, Industrias Habers presenta como plan de acción a corto plazo la implementación de un sistema iluminación LED eficiente con los objetivos de:

- Mejorar los niveles de iluminación en las áreas de trabajo.
- Generar ahorros económicos con implementación de nuevas tecnologías.
- Disminuir los problemas que generan los balastos electrónicos dentro de la red eléctrica.
- Mitigar las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Ahorros obtenidos, resultados y beneficios adicionales

Principales Indicadores	
Ahorro energético total de la planta	20%
Ahorro anual económico	MXN \$ 566 304
Ahorro anual de energía	255 555 kWh
Inversión necesaria	MXN \$ 812 348
Tiempo de amortización	18 meses
Reducción de gases de efecto invernadero	166 110 kg CO ₂

No sólo se logra un ahorro financiero por la reducción de consumo eléctrico, sino también menores costos de mantenimiento a causa de un aumento de la vida útil.

11.1.5 Medidores Delaunet S.A.P.I. de C.V.: Horno de Inducción

Información de fondo

El desarrollo del proyecto piloto inició con el taller introductorio a la ISO 50001:2011, en octubre de 2015. Posteriormente, las empresas realizaron las auditorías energéticas, identificando y priorizando varias oportunidades de mejora, con la orientación de consultores mexicanos expertos en eficiencia energética.

Una de las empresas participantes fue **Medidores Delaunet S.A.P.I. de C.V.**, ubicada en la Ciudad de México. Produce medidores de flujo de agua y conexiones de latón.

Descripción de la mejora

El horno de inducción es uno de los usos significativos de energía en la planta y opera las 24 horas del día, pero el proceso de fundición solo necesita de 8 horas para alcanzar diaria de piezas. Se requiere 11.2% de la energía que consume este equipo, para cubrir las necesidades de producción de conexiones.

El proyecto piloto fue decisivo en el establecimiento y la fijación de criterios para la eficaz operación y el mantenimiento de dicho uso significativo de energía, como se indica en el punto 4.5.5 de la norma ISO 50001:2011.

La oportunidad de mejora fue detectada como resultado directo de la auditoría energética del proyecto piloto y consiste básicamente en diseñar e implementar un sistema de control operacional para el horno de inducción, que permita lograr y mantener un óptimo desempeño energético. La implementación está prevista para 2017.

La documentación de este caso de éxito se llevó a cabo como resultado del sistema de gestión de energía que se está implementado con el proyecto piloto.

Ahorros obtenidos, resultados y beneficios adicionales

Principales Indicadores	
Ahorro energético total de la planta	77.7%
Ahorro anual económico	USD \$ 16 311
Ahorro anual de energía	191 904 kWh
Inversión necesaria	USD \$ 35 000
Tiempo de amortización	2.1 años

El diagnóstico energético, también llamado auditoría energética, facilitó el autoanálisis de la empresa y proveyó la base para la identificación de mejoras del control operacional.

11.1.6 Reciclagua Ambiental S.A. de C.V.: Reconfiguración del sistema de distribución de aire soplado

Información de fondo

El desarrollo del proyecto piloto inició con el taller introductorio a la ISO 50001:2011, en octubre de 2015. Posteriormente, las empresas realizaron las auditorías energéticas, identificando y priorizando varias oportunidades de mejora, con la orientación de consultores mexicanos expertos en eficiencia energética.

La empresa **Reciclagua Ambiental S.A. de C.V.** es una empresa ubicada en el corredor Toluca-Lerma, conocida como la segunda zona industrial más importante del país. Hoy en día, tiene a su cargo proporcionar el servicio de tratamiento de aguas residuales de tipo industrial de dicha zona y, como contraprestación, da la constancia del cumplimiento en la calidad del agua residual tratada, conforme a la norma mexicana: NOM-001-SEMARNAT-1996.

Descripción de la mejora

Anteriormente, Reciclagua había implementado ya diversos proyectos de mejora de la eficiencia energética, como el cambio de motores en los sopladores y la instalación de dos variadores de velocidad para la regulación de la demanda.

Sin embargo, durante la auditoría energética realizada en febrero del 2016, se encontró que los seis sopladores (uno de los usos de energía más importantes para la empresa) se encontraban conectados mediante un cabezal en paralelo y que los variadores de velocidad estaban conectados con tres sopladores al primero y tres al segundo. Así entonces, la oportunidad de mejora identificada se dividía en dos puntos:

- Los flujos de los sopladores ingresaban al cabezal a diferentes distancias, pero a las mismas presiones, lo que ocasionaba que el flujo del primer soplador creara una barrera de presión sobre los otros dos flujos.
- Los variadores de velocidad se encontraban mal programados, lo cual trajo como consecuencia el que el área de mantenimiento decidiera activarlos manualmente.

Como medida de mejora, durante la auditoría se ajustaron los variadores de velocidad, para que funcionaran de forma automática y, con ello, la operación de los sopladores mejoró. Con respecto a los sopladores, el rediseño del suministro de aire al reactor biológico No.3, logró separar los flujos y evitar el choque que generaba contrapresión e incrementos de temperatura y, por lo tanto, un alto consumo de energía, que se reflejaba en la factura eléctrica.

Para poder replicar los cambios, también en el reactor No.1, se está realizando un cambio en la distribución de la red. Estos datos de ahorro corresponden al Reactor No.3, que ya está operando, y se esperan beneficios similares con la implementación en el Reactor No.1.

Ahorros obtenidos, resultados y beneficios adicionales

Principales Indicadores	
Ahorro energético total de la planta	6%
Ahorro anual económico	MXN \$ 940 236
Ahorro anual de energía	775 008 kWh
Inversión necesaria	MXN \$ 263 004
Tiempo de amortización	4 meses
Reducción de gases de efecto invernadero	0.38 T CO ₂ eq.

Cabe destacar que el análisis realizado en el transcurso de la auditoría energética y las conclusiones sirven como base para el análisis y posterior rediseño, así como la mejora del desempeño energético de un sistema existente.

11.1.7 Safran Landing System México S.A. de C.V.: Adaptación del control operacional para mejorar el aprovechamiento

Información de fondo

El desarrollo del proyecto piloto se inició con el taller introductorio a la ISO 50001:2011, en octubre de 2015. Posteriormente, las empresas realizaron las auditorías energéticas, identificando y priorizando varias oportunidades de mejora, con la orientación de consultores mexicanos expertos en eficiencia energética.

La empresa **Safran Landing System México S.A. de C.V.**, anteriormente conocida como Messier-Dowty México S.A. de C.V., ubicada en la ciudad de Querétaro y especializada en la fabricación de componentes estructurales que conforman los trenes de aterrizaje, identificó como Uso Significativo de Energía (USE) el horno de tratamiento térmico utilizado en el proceso de temple del producto semiterminado.

Por condiciones de operación, dicho horno trabajaba en promedio a un 67.5% de su capacidad.

Descripción de la mejora

Una vez realizada la revisión energética, y como resultado de la integración del área de proceso al equipo energético, se identificó y estableció un control operacional, en el que se definió que los hornos deben de operar con una carga mínima de 3 piezas, elevando el promedio de uso de capacidad al 75%.

Una vez estabilizada la operación manteniendo un mínimo de 3 piezas por carga, se implementaron medidas para incrementar la productividad y la ocupación de equipos críticos con un sistema de alerta. Este tiene la capacidad de identificar inmediatamente paros de equipos y por lo tanto desperdicio energético.

Cabe mencionar que una mejora adicional fue la identificación de otras variables y situaciones que generaban carga al sistema de aire acondicionado, como es la disipación de calor por equipos de maquinado que no tenían direccionadas las emisiones térmicas. Actualmente se está implementando un sistema de aislamiento a los equipos de maquinado que permiten que el calor sea captado y disipado directamente al exterior de la nave.

La empresa está trabajando adicionalmente en realizar mejoras a los equipos con la finalidad de captar el calor generado por la fricción y poder recuperarlo para procesos laterales.

Un punto sumamente importante y que es realmente un caso único de éxito es que durante el proyecto se han aumentado algunos equipos de consumo energético medio y se ha mantenido la mejora en el desempeño energético inicialmente ganado.

Se ha aumentado el nivel de producción manteniendo los consumos energéticos proyectados por línea base, lo que conlleva a un índice energético por pieza producida menor a la que se tenía antes del inicio del proyecto.

Ahorros obtenidos, resultados y beneficios adicionales

Principales Indicadores	
Ahorro energético total de planta	3.33%
Ahorro anual económico	MXN \$ 470 000
Ahorro anual energía	344 846 kWh
Inversión necesaria	0
Tiempo de amortización	0
Reducción de gases de efecto invernadero	132 765.71 Kg de CO2 eq.

Este caso es un ejemplo de cómo con modificaciones operacionales en los procesos de producción, los cuales no requieren de inversiones de capital, se pueden lograr ahorros energéticos considerables.

11.1.8 Specialities Pet Food S.A. de C.V.: Comunicación con cliente y cambios a proceso

Información de fondo

El desarrollo del proyecto piloto se inició con el taller introductorio ISO 50001:2011, en octubre de 2015. Posteriormente, las empresas realizaron las revisiones energéticas, identificando y priorizando varias oportunidades de mejora, con la orientación de consultores mexicanos expertos en eficiencia energética.

La empresa **Specialities Pet Food, S.A. de C.V.** es una empresa líder en la fabricación de factores de apetencia para croquetas para perros y gatos, en un proceso que inicia con una molienda de materia prima, seguida por una cocción en un reactor a presión a distintas temperaturas y tiempo de cocción en función de la materia prima.

Descripción de la mejora

Una vez realizada la revisión energética y como resultado de la misma, se identificó que gran parte de la ineficiencia energética en el proceso de producción se debía a la programación de pedidos del cliente, las cantidades solicitadas y las especificaciones del producto. Adicionalmente también se identificó que se estaban operando los reactores a condiciones inferiores a las de saturación lo que ocasionaba un calentamiento innecesario de material inerte (agua).

Mediante una mejor comunicación con el cliente, que permite una mejor programación, así como un ligero cambio a condiciones de procesamiento enfocado a aumentar el número de cargas en condiciones cercanas a las de saturación, se logró un ahorro energético considerable tanto en gas como en energía eléctrica, al mismo tiempo aprovechando mejor la energía utilizada.

Ahorros obtenidos, resultados y beneficios adicionales

Principales Indicadores	
Ahorro energético total de planta (enero 2016 – abril 2017)	18.5%
Ahorro económico	MXN \$ 459 504
Ahorro anual energía	534 305.93 kWh
Inversión necesaria	0
Tiempo de amortización	0
Reducción de gases de efecto invernadero	104 270.67 Kg de CO ₂ eq.

Este caso es un ejemplo de cómo una comunicación más estrecha con el cliente y con pequeños cambios de procesos, que no afectan la calidad del producto, se pueden lograr ahorros energéticos considerables sin inversiones de capital.

11.2 ANEXO II: Encuesta de comparación por pares

Criterios para la toma de decisión de proyectos de eficiencia energética

El siguiente formulario tiene la intención de conocer las preferencias de los criterios para la toma de decisión de proyectos de eficiencia energética.

Los criterios seleccionados son:

Porcentaje de ahorro energético (%). Porcentaje de la energía que se puede ahorrar con la medida con respecto al total del consumo energético actual.

Ahorro de energía anual (kWh/año). Estimación del ahorro energético que se puede obtener por medio de la medida durante el periodo de un año.

Reducción de gases de efecto invernadero (Kg de CO₂). Estimación de la cantidad de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se evita por llevar a cabo la medida.

Ahorro económico anual (MXN/año). Estimación del ahorro económico que se puede obtener por medio de la medida durante un periodo de año.

Inversiones necesarias (MXN). Estimación de la inversión necesaria para poder llevar a cabo la medida, esto debe contemplar el monto de adquisición, monto de instalación y monto de mantenimiento de la medida.

Tiempo de amortización (años). Tiempo en número de años requerido para que la medida se pague solo y empiece a darnos beneficios.

Los criterios antes señalados se seleccionaron de acuerdo a la recopilación realizada por Wang et al. (2009)

***Obligatorio**

Evaluación de los criterios

La evaluación de los criterios realiza entre la comparación del Criterio 1 y el Criterio 2 dando una calificación con los siguientes valores:

Escala de evaluación de Saaty (Saaty, 1990)

Intensidad de importancia en una escala absoluta	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen de igual forma al objetivo.
3	Importancia moderada entre una sobre la otra	Experiencia y juicio favorece fuertemente a una actividad sobre la otra.
5	Esencial o importancia fuerte	Experiencia y juicio favorece fuertemente a una actividad sobre la otra.
7	Muy fuerte importancia	Una actividad es fuertemente favorecida y su dominio es demostrado en la práctica.
9	Extrema importancia	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es del orden más alto posible de afirmación.
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Cuando el compromiso es necesario.
Recíprocos	Si la actividad i tiene alguno de los valores anteriores asignados cuando es comparado con la actividad j, entonces j tiene el valor recíproco cuando es comparado con i	
Racionales	Proporciones derivadas de la escala	Si la consistencia fuese forzada para obtener n valores numéricos para abarcar la matriz.

1. Entre el Porcentaje de ahorro energético (%) y Reducción de gases de efecto invernadero (Kg de CO2) ¿Cuál es más importante en la selección de proyectos de eficiencia energética? *

Marca solo un óvalo.

- Porcentaje de ahorro energético (%)
- Reducción de gases de efecto invernadero (Kg de CO2)

2. ¿Cuál es su nivel de importancia? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual	<input type="radio"/>	Extremadamente								

3. Entre el Porcentaje de ahorro energético (%) y Ahorro anual económico (\$) ¿Cuál es más importante en la selección de proyectos de eficiencia energética? *

Marca solo un óvalo.

- Porcentaje de ahorro energético (%)
- Ahorro anual económico (\$)

4. ¿Cuál es su nivel de importancia? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual	<input type="radio"/>	Extremadamente								

5. Entre el Porcentaje de ahorro energético (%) y Ahorro anual energético (kWh) ¿Cuál es más importante en la selección de proyectos de eficiencia energética? *

Marca solo un óvalo.

- Porcentaje de ahorro energético (%)
- Ahorro anual energético (kWh)

6. ¿Cuál es su nivel de importancia? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual	<input type="radio"/>	Extremadamente								

7. Entre el Porcentaje de ahorro energético (%) e Inversión necesaria (\$) ¿Cuál es más importante en la selección de proyectos de eficiencia energética? *

Marca solo un óvalo.

- Porcentaje de ahorro energético (%)
- Inversión necesaria (\$)

8. ¿Cuál es su nivel de importancia? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual	<input type="radio"/>	Extremadamente								

9. Entre el Porcentaje de ahorro energético (%) y Tiempo de amortización (años) ¿Cuál es más importante en la selección de proyectos de eficiencia energética? *

Marca solo un óvalo.

- Porcentaje de ahorro energético (%)
- Tiempo de amortización (años)

10. ¿Cuál es su nivel de importancia? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual	<input type="radio"/>	Extremadamente								

11. Entre Reducción de gases de efecto invernadero (Kg de CO₂) y Ahorro anual económico (\$) ¿Cuál es más importante en la selección de proyectos de eficiencia energética? *

Marca solo un óvalo.

- Reducción de gases de efecto invernadero (Kg de CO₂)
- Ahorro anual económico (\$)

12. ¿Cuál es su nivel de importancia? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual	<input type="radio"/>	Extremadamente								

13. Entre Reducción de gases de efecto invernadero (Kg de CO₂) y Ahorro anual energético (kWh) ¿Cuál es más importante en la selección de proyectos de eficiencia energética? *

Marca solo un óvalo.

- Reducción de gases de efecto invernadero (Kg de CO2)
- Ahorro anual energético (kWh)

14. ¿Cuál es su nivel de importancia? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual	<input type="radio"/>	Extremadamente								

15. Entre Reducción de gases de efecto invernadero (Kg de CO2) e Inversión necesaria (\$) ¿Cuál es más importante en la selección de proyectos de eficiencia energética? *

Marca solo un óvalo.

- Reducción de gases de efecto invernadero (Kg de CO2)
- Inversión necesaria (\$)

16. ¿Cuál es su nivel de importancia? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual	<input type="radio"/>	Extremadamente								

17. Entre Reducción de gases de efecto invernadero (Kg de CO2) y Tiempo de amortización (años) ¿Cuál es más importante en la selección de proyectos de eficiencia energética? *

Marca solo un óvalo.

- Reducción de gases de efecto invernadero (Kg de CO2)
- Tiempo de amortización (años)

18. ¿Cuál es su nivel de importancia? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual	<input type="radio"/>	Extremadamente								

19. Entre Ahorro anual económico (\$) y Ahorro anual energético (kWh) ¿Cuál es más importante en la selección de proyectos de eficiencia energética? *

Marca solo un óvalo.

- Ahorro anual económico (\$)
 Ahorro anual energético (kWh)

20. ¿Cuál es su nivel de importancia? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual	<input type="radio"/>	Extremadamente								

21. Entre Ahorro anual económico (\$) e Inversión necesaria (\$) ¿Cuál es más importante en la selección de proyectos de eficiencia energética? *

Marca solo un óvalo.

- Ahorro anual económico (\$)
 Inversión necesaria (\$)

22. ¿Cuál es su nivel de importancia? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual	<input type="radio"/>	Extremadamente								

23. Entre Ahorro anual económico (\$) y Tiempo de amortización (años) ¿Cuál es más importante en la selección de proyectos de eficiencia energética? *

Marca solo un óvalo.

- Ahorro anual económico (\$)
 Tiempo de amortización (años)

24. ¿Cuál es su nivel de importancia? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual	<input type="radio"/>	Extremadamente								

25. Entre Ahorro anual energético (kWh) e Inversión necesaria (\$) ¿Cuál es más importante en la selección de proyectos de eficiencia energética? *

Marca solo un óvalo.

- Ahorro anual energético (kWh)
- Inversión necesaria (\$)

26. ¿Cuál es su nivel de importancia? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual	<input type="radio"/>	Extremadamente								

27. Entre Ahorro anual energético (kWh) y Tiempo de amortización (años) ¿Cuál es más importante en la selección de proyectos de eficiencia energética? *

Marca solo un óvalo.

- Ahorro anual energético (kWh)
- Tiempo de amortización (años)

28. ¿Cuál es su nivel de importancia? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual	<input type="radio"/>	Extremadamente								

29. Entre Inversión necesaria (\$) y Tiempo de amortización (años) ¿Cuál es más importante en la selección de proyectos de eficiencia energética? *

Marca solo un óvalo.

- Inversión necesaria (\$)
- Tiempo de amortización (años)

30. ¿Cuál es su nivel de importancia? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Igual	<input type="radio"/>	Extremadamente								

Proceso metodológico para la selección de medidas de eficiencia energética

Por José Rodrigo Preciado Solís

Proceso metodológico para la selección de medidas de eficiencia energética

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	diariooficial.segob.gob.mx Internet	338 palabras — 2%
2	www.ingquimica.uady.mx Internet	194 palabras — 1%
3	docplayer.es Internet	192 palabras — 1%
4	www.gestionaenergia.cl Internet	110 palabras — 1%
5	cybertesis.unmsm.edu.pe Internet	91 palabras — 1%
6	es.scribd.com Internet	91 palabras — 1%
7	repositorio.cepal.org Internet	85 palabras — 1%
8	millet.com.mx Internet	81 palabras — < 1%
9	hdl.handle.net Internet	56 palabras — < 1%
10	inzeko.ktu.lt Internet	55 palabras — < 1%

11	Internet	55 palabras — < 1%
12	doczz.es Internet	51 palabras — < 1%
13	acacia.org.mx Internet	44 palabras — < 1%
14	DORIS CARMEN BAPTISTA CARRILLO. "Diseño, desarrollo y validación de una metodología para el análisis de competitividad en sectores industriales venezolanos basada en la técnica multicriterio Analytic Network Process (ANP)", Universitat Politecnica de Valencia, 2012 Crossref Posted Content	39 palabras — < 1%
15	www.e3s-conferences.org Internet	35 palabras — < 1%
16	www.procalso.gov.mx Internet	35 palabras — < 1%
17	www.inderscienceonline.com Internet	32 palabras — < 1%
18	www.powershow.com Internet	32 palabras — < 1%
19	revistas.javeriana.edu.co Internet	32 palabras — < 1%
20	onlinelibrary.wiley.com Internet	29 palabras — < 1%
21	calidadgestion.wordpress.com Internet	29 palabras — < 1%
22	www.infinishai.com.mx Internet	29 palabras — < 1%

23	documentop.com Internet	28 palabras — < 1%
24	ascelibrary.org Internet	23 palabras — < 1%
25	ammac.mx Internet	23 palabras — < 1%
26	www.energiaestrategica.com Internet	23 palabras — < 1%
27	journals.vgtu.lt Internet	22 palabras — < 1%
28	www.scribd.com Internet	22 palabras — < 1%
29	Samaneh Ghafoori Kharanagh, Mohammad Ebrahim Banihabib, Saman Javadi. "An MCDM-based social network analysis of water governance to determine actors' power in water-food-energy nexus", Journal of Hydrology, 2020 Crossref	21 palabras — < 1%
30	www.tandfonline.com Internet	21 palabras — < 1%
31	research.aalto.fi Internet	20 palabras — < 1%
32	R. V. Klyuev, I. I. Bosikov, A. D. Alborov. "Chapter 69 Research and Mathematical Modeling of the Thermal and Power Performance of Resistance Furnaces at Metallurgical Enterprises", Springer Science and Business Media LLC, 2020 Crossref	20 palabras — < 1%
33	theibfr.com Internet	20 palabras — < 1%

34	ALICIA HARRAR ISRAEL. "Propuesta de aplicación de Técnicas de Decisión Multicriterio en el desarrollo de Alimentos Funcionales en Venezuela", Universitat Politecnica de Valencia, 2010 Crossref Posted Content	19 palabras — < 1%
35	tatuy.net Internet	18 palabras — < 1%
36	www.aniridia.com Internet	18 palabras — < 1%
37	docslide.us Internet	18 palabras — < 1%
38	scholarworks.waldenu.edu Internet	17 palabras — < 1%
39	Vicente Calvo Peña. "Sistema experto para el análisis de la criticidad y seguridad en redes de galerías de servicios urbanas.", Universitat Politecnica de Valencia, 2015 Crossref Posted Content	17 palabras — < 1%
40	www.cris.uns.ac.rs Internet	15 palabras — < 1%
41	creativecommons.org Internet	13 palabras — < 1%
42	repositorio.uncp.edu.pe Internet	13 palabras — < 1%
43	repository.unilibre.edu.co Internet	13 palabras — < 1%
44	Xiaoqi Zhang, Bengang Gong, Feng Yang, Sheng Ang. "A stochastic multicriteria acceptability analysis—evidential reasoning method for uncertain multiattribute decision-making problems", Expert Systems, 2019 Crossref	12 palabras — < 1%

45	www.web.sdu.dk Internet	12 palabras — < 1%
46	d-nb.info Internet	11 palabras — < 1%
47	www.spacejuarez.com Internet	11 palabras — < 1%
48	bdigital.unal.edu.co Internet	11 palabras — < 1%
49	repositorio.ulead.edu.ec Internet	11 palabras — < 1%
50	ri.ues.edu.sv Internet	10 palabras — < 1%
51	Samuel A.O. Ilupeju, Hilton Maverengo, Freddie L. Inambao, Ntumba Marc Alain Mutombo. "Energy Efficiency Evaluation in a Pulp and Paper Industry in South Africa - A Case Study", International Journal of Engineering Research in Africa, 2017 Crossref	10 palabras — < 1%
52	www.pciudadana.com Internet	10 palabras — < 1%
53	u.jimdo.com Internet	10 palabras — < 1%
54	Juan Alvarez Arroyo, Manuel Madrigal Martinez, Monica Hernandez Barrera. "Analysis of Electric Energy Consumption in High School Buildings in the State of Michoacán", 2019 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC), 2019 Crossref	10 palabras — < 1%
55	prezi.com Internet	10 palabras — < 1%

56	www.3ciencias.com Internet	10 palabras — < 1%
57	medioambiente.madrid.org Internet	10 palabras — < 1%
58	San-Jose Lombera, J.T.. "Industrial building design stage based on a system approach to their environmental sustainability", Construction and Building Materials, 201004 Crossref	10 palabras — < 1%
59	www.ceniap.gov.ve Internet	10 palabras — < 1%
60	bdigital.upme.gov.co Internet	10 palabras — < 1%
61	hera.ugr.es Internet	10 palabras — < 1%
62	www.repositorio.usac.edu.gt Internet	9 palabras — < 1%
63	exploredoc.com Internet	9 palabras — < 1%
64	ddd.uab.es Internet	9 palabras — < 1%
65	www.gob.mx Internet	9 palabras — < 1%
66	www.revistaviajeros.com Internet	9 palabras — < 1%
67	www.tdx.cat Internet	9 palabras — < 1%
68	www.isys.dia.fi.upm.es Internet	9 palabras — < 1%

69	www.shcp.gob.mx Internet	9 palabras — < 1%
70	estylf2014.unizar.es Internet	9 palabras — < 1%
71	tangara.uis.edu.co Internet	9 palabras — < 1%
72	ceiba.org.mx Internet	9 palabras — < 1%
73	www.attac.cl Internet	9 palabras — < 1%
74	www.acee.cl Internet	9 palabras — < 1%
75	ruja.ujaen.es Internet	9 palabras — < 1%
76	repositorio.unan.edu.ni Internet	9 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR
COINCIDENCIAS

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO