

Metodología para la Implementación de Proyectos de Eficiencia Energética en el Marco del Sistema de Gestión de la Energía, en Empresas Caracterizadas en el Programa RED-RECIEE Bogotá

Diana Marcela Montaña Silva

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Eléctrica y Electrónica
Bogotá, Colombia
2018

Metodología para la Implementación de Proyectos de Eficiencia Energética en el Marco del Sistema de Gestión de la Energía, en Empresas Caracterizadas en el Programa RED- RECIEE Bogotá

Diana Marcela Montaña Silva

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al
título de:

Magister en Ingeniería Eléctrica

Director:

M.Sc, Omar Fredy Prias Caicedo

Línea de Investigación:

Eficiencia Energética

Grupo de Investigación:

GRISEC – Grupos de Investigación en el Sector Energético Colombiano

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Eléctrica y Electrónica
Bogotá, Colombia

2018

A mi familia y especialmente a mi esposo por su apoyo incondicional.

Agradecimientos

Agradezco al Grupo de Investigación en el Sector Energético Colombiano GRISEC, por los aportes valiosos para la construcción de este documento.

Al ingeniero Omar Prias Caicedo, director del grupo de investigación por su apoyo, dirección y por permitirme aprender tanto de él.

A mis compañeros, amigos y profesores, por ser parte fundamental en mi formación.

A la Universidad Nacional de Colombia.

Resumen

El objetivo del presente trabajo es desarrollar una metodología para la evaluación técnica y financiera de un proyecto de cambio tecnológico aplicado a una empresa participante del Programa RED RECIEE, el cual propende una integración con la industria en el ámbito de la gestión energética e identificación de un agente integrador Universidad, Empresa, Estado.

Para iniciar, en la etapa de decisión estratégica, se realiza la caracterización energética de la empresa objeto de estudio, donde se identifica los usos, consumos y variables significativas que afectan el consumo de energía en función de la producción, adicional se identifican las desviaciones del consumo en función del comportamiento identificado por la línea base, definiendo potenciales de ahorro ya sean por gestión o por cambio tecnológico; este ejercicio se realizó teniendo en cuenta la metodología desarrollada por los grupos de investigación KAI de la universidad del Atlántico, el grupo GIEN de la universidad Autónoma de Occidente y el grupo de investigación GRISEC de la Universidad Nacional de Colombia, por otro lado se requiere de una auditoria energética que estime los potenciales por cambio tecnológico que se requiere para el análisis técnico - financiero que hace parte del presente trabajo.

En el **capítulo 1**, se realiza una introducción y contextualización del trabajo de investigación, así como la motivación y la justificación. Así mismo, muestra un contexto de la normativa aplicable, a la financiación de proyectos de eficiencia energética.

El **capítulo 2**, desarrolla la propuesta metodológica que se expone para mejorar el desempeño energética de la empresa, se expone la justificación de plantear dicha metodología y las etapas para su desarrollo.

El **capítulo 3** contiene la fase de decisión estratégica, donde se realiza la caracterización energética desarrollada en la empresa objeto de estudio, que pertenece al sector de fabricación de productos de plástico, la cual cuenta con dos procesos principales, inyección y extrusión. Se establece el indicador de consumo específico de energía de la

empresa, el cual se encuentra por encima de los valores registrados por otras compañías del sector. Se identifican oportunidades de ahorro.

El **capítulo 4**, abarca la evaluación tecnológica donde se identifican las principales variables que intervienen en el proceso, tanto de los equipos medulares como de los complementarios, su ponderación en los costos de la compañía y su contribución al desempeño energético y reducción del indicador de consumo específico de energía.

El **capítulo 5**, comprende la evaluación financiera de la propuesta de cambio tecnológico, describe las oportunidades de financiación como son, los beneficios tributarios, las líneas de crédito bancarias y la posibilidad de autofinanciación.

Para finalizar se exponen las conclusiones de este trabajo de grado.

Palabras clave: Consumo específico de energía, Desempeño energético, Evaluación tecnológica, Financiación, Gestión energética, Indicadores

Abstract

The objective of this paper is to develop a methodology for the technical and financial evaluation of a technological change project applied to a company participating in the RED RECIEE Program, which aims to integrate with the industry in the field of energy management and identification of an integrating agent University, Company, State.

The energy characterization of the company under study, aims to identify the energy performance of this and determine possible anomalous energy consumption, compared with production, so that opportunities for improvement can be identified; This exercise was carried out taking into account the methodology developed by the KAI research group of the Universidad del Atlántico, the GIEN group of the Universidad Autonoma de Occidente and the GRISEC research group of the Universidad Nacional de Colombia, and the technological evaluation and financial is part of the research carried out in the present work of degree.

In chapter 1, an introduction is made to expose the scope in which the project is developed, as well as motivation and justification. It also shows a context of the applicable regulations.

Chapter 2, develops the methodological proposal that is exposed to improve the energy performance of the company, explains the justification for raising said methodology and the stages for its development.

Chapter 3 contains the characterization of the company under study, which belongs to the sector of manufacturing plastic products, which has two main processes, injection and extrusion. The indicator of the company's specific energy consumption is established, which is above the values registered by other companies in the sector. Savings opportunities are also identified.

Chapter 4, covers the technological evaluation where the main variables that intervene in the process are identified, both of the core and complementary equipment, its weighting in

the costs of the company and its contribution to energy performance and reduction of the consumption specific energy consumption indicator.

Chapter 5 includes the financial evaluation of the proposal for technological change, describes financing opportunities such as tax benefits, bank credit lines and the possibility of self-financing.

To finalize, the conclusions of this degree work are exposed.

Keywords: Specific energy consumption, Energy performance, Technological evaluation, Financing, Energy management, Indicators

Contenido

Lista de figuras XIV

Lista de tablas XV

INTRODUCCIÓN 16

Propuesta de Investigación18

1. ESTADO DEL ARTE20

2. PROPUESTA METODOLÓGICA.....31

2.1 Componentes metodológicos37

2.1.1 Decisión estratégica38

2.1.2 Evaluación tecnológica44

2.1.3 Evaluación financiera49

3. DECISIÓN ESTRATÉGICA – CASO DE ESTUDIO52

3.1 Empresa objeto de estudio52

3.1.1 Descripción de la empresa.....53

3.1.2 Matriz energética54

3.1.3 Levantamiento de información54

3.1.4 Diagrama de Pareto58

3.1.5 Diagrama energético productivo60

3.1.6 Línea base energética61

3.1.7 Consumo Específico de Energía.....63

3.1.8 Identificación de oportunidades de mejora del desempeño energético por cambio tecnológico65

4. EVALUACIÓN TECNOLÓGICA DE LA ALTERNATIVA DE CAMBIO TECNOLÓGICO 68

4.1 Consumo específico de energía del proceso68

4.2 Consumo específico de energía por cambio de tecnología70

5. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS FINANCIERAS PARA INCENTIVAR LAS INVERSIONES EN CAMBIOS TECNOLÓGICOS.....74

6. CONCLUSIONES88

BIBLIOGRAFÍA 91

Anexo 1- Incentivos tributarios Ley 171594

Lista de figuras

Figura 1 Esquema básico de planificación energética	17
Figura 2 Estructura de un SGIE.....	23
Figura 3. Distribución por sectores de las empresas beneficiarias del programa.....	25
Figura 4 Usos Significativos de la Energía	25
Figura 5 Tecnología propuesta para la mejora del desempeño energético.....	26
Figura 6 Medición energética en la industria	26
Figura 7 Porcentaje de la energía en los costos totales de la empresa	27
Figura 8 Esquema de formulación y evaluación de proyectos	30
Figura 9 Proyectos gestión energética con incentivos	32
Figura 10 Conocimientos sobre los mecanismos de financiación para eficiencia energética y su aplicación	34
Figura 11 En qué momento se produce la oportunidad de compra.....	35
Figura 12 Variable que influye en la decisión de compra.....	36
Figura 13 Decisión estratégica	43
Figura 14 Evaluación tecnológica.....	48
Figura 27 Evaluación financiera	51
Figura 15 Matriz energética.....	54
Figura 16 Diagrama de Pareto para Inyección	58
Figura 17 Diagrama de Pareto Inyectora M98	59
Figura 18 Diagrama de Pareto proceso de Extrusión	59
Figura 19 Diagrama de Pareto Extrusora 1	60
Figura 20 Diagrama energético productivo	61
Figura 21 Línea base de energía.....	62
Figura 22 SEC vs Producción.....	64
Figura 23 SEC empresa plástico	72
Figura 24 línea base optimizada.....	72
Figura 25 Valor Presente Neto	85
Figura 26 Indicadores financieros.....	86
Figura 28 Procedimiento para obtener incentivos tributarios	96

Lista de tablas

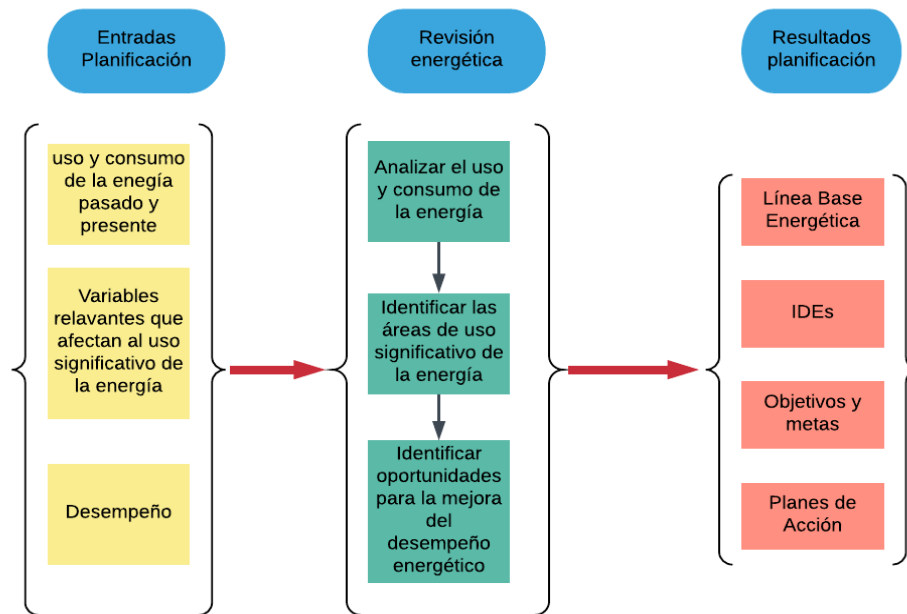
Tabla 1 Resumen de potenciales de ahorro por región	28
Tabla 2 Solicitudes recibidas para acceder a incentivos tributarios	31
Tabla 3 líneas de crédito banca comercial.....	33
Tabla 5 T-Student distribución.....	40
Tabla 4 Censo de carga empresa	55
Tabla 6 P- Value datos	61
Tabla 7 Consumo específico de energía empresas plástico.....	65
Tabla 8 Comparación internacional consumo específico	66
Tabla 9 Datos de entrada maquinaria instalada.....	69
Tabla 10 Variables equipo de reemplazo.....	71
Tabla 11 Estructura proyecto.....	75
Tabla 12 Datos de entrada proyecto cambio de motores.....	76
Tabla 13 Datos de entrada equipo actual	77
Tabla 14 Datos de entrada equipo nuevo	77
Tabla 15 Costo de inversión	78
Tabla 16 Flujo de caja de la empresa.....	79
Tabla 17 Financiamiento bancario.....	81
Tabla 18 Flujo de caja con financiamiento comercial.....	81
Tabla 19 Incentivos tributarios Ley 1715	82
Tabla 20 Flujo de caja con incentivos tributarios Ley 1715.....	83
Tabla 21 Indicadores Financieros.....	85
Tabla 22 Metas indicativas de ahorro	95

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la gestión de la energía en Colombia está viviendo una importante etapa de difusión y consolidación gracias a la adopción de la norma NTC ISO 50001 y a las iniciativas universidad, empresa, estado. No obstante, persiste la necesidad de enfocar los esfuerzos de las diferentes entidades de manera que las acciones que se emprendan obedezcan a la realidad nacional y aprovechen de manera efectiva los recursos que se están gestando tanto desde la industria, como desde el estado. El área de trabajo que se abordará en este campo es el cambio de tecnología asociado a los planes de acción que se establezcan en la empresa mediante la implementación del sistema de gestión de energía y su impacto en el desempeño energético; adicionalmente, se elaborará una metodología para evaluar los proyectos identificados y los mecanismos de financiación disponibles en el mercado que permitan un impacto en la productividad. (D.-M. de gestión Montaña S, n.d.)

Dentro del esquema del modelo de gestión de la energía se identifica el requisito de planificación energética de la Norma NTC ISO 50001 que tiene como objetivo prever las necesidades energéticas futuras y acciones que sean necesarias realizar para la mejora del desempeño energético. (ICONTEC, 2011) que se describe en la Figura 1, éste permite contar con un plan minuciosamente diseñado que sirve de guía durante un período de tiempo determinado. Es una herramienta útil para cualquier organización que decida mejorar su consumo energético y que desee hacerlo conforme a un plan correctamente elaborado.

Figura 1 Esquema básico de planificación energética



Fuente: Elaboración propia

El requisito de planificación energética será la base documental sobre la que se estructura la implementación del Sistema de Gestión Integral de la Energía - SGIE, este proceso debe enfocarse en incentivar actividades de mejora del desempeño energético. Esta etapa resalta la importancia de los instrumentos y técnicas que debe tener la organización para mantener y mejorar continuamente el desempeño energético. (Prias, Campos, Rojas, & Palencia, 2013)

El conocimiento del estado actual de las variables energéticas para su análisis brindará a la organización una visión clara de su desempeño energético y le permitirá identificar metódicamente aquellas variables que pueden ser modificadas, mejoradas o eliminadas en función de un incremento en la eficiencia energética de uno o varios procesos productivos, teniendo en cuenta la estratificación de mejoras en proyectos de nula, media y alta inversión.

La identificación de estas variables permite la elaboración de los planes de acción que pueden ser desarrollados por buenas prácticas (proyectos de nula o media inversión) o por cambio tecnológico (proyectos de media o alta inversión). Es aquí donde la

identificación de proyectos de cambio tecnológico tiene relevancia en el impacto del desempeño energético de la empresa. (Jatinder Madan a, b, Mahesh Mani a, C, Jae Hyun Lee a & A, 2014)

Aprovechar los potenciales de eficiencia energética, supone fuertes inversiones en infraestructura, que requieren la decisión y disponibilidad de recursos que muchas veces se ven obstaculizados por barreras de tipo cultural, técnico, económico y financiero.

Es prioridad del gobierno el fortalecimiento de las fuentes de financiación; integrando y canalizando opciones de financiamiento e incentivos para que los sectores públicos y privados se involucren en actividades de eficiencia energética, adoptando criterios de sostenibilidad en la gestión de los sectores productivos, procurando cambios tecnológicos y de innovación.

Se desea entonces plantear una metodología para una de las empresas del programa Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética - RED RECIEE con la que se viene adelantando el proceso de implementación del sistema de gestión de la energía, con el fin de identificar oportunidades de mejora del desempeño energético por cambio tecnológico en sus procesos productivos y su relación con la competitividad de la empresa.

Propuesta de Investigación

Formular una metodología para la evaluación tecnológica y financiera de proyectos de eficiencia energética aplicada a proyectos de cambio tecnológico que contribuyan a la mejora del desempeño energético y con impacto en la productividad en el ámbito de la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía de empresas caracterizadas en el programa RED-RECIEE Bogotá.

- Identificar, evaluar y documentar un proceso de decisión estrategia en el que se identifiquen proyectos de cambio tecnológico que contribuyan al desempeño energético y a la productividad en la empresa objeto de estudio en el marco del Programa RED-RECIEE Bogotá.

- Realizar una evaluación tecnológica de las alternativas, basadas en el diagnóstico del objetivo anterior.
- Evaluar las alternativas financieras que permitan incentivar las inversiones para la adopción de la tecnología que promuevan la realización de los proyectos identificados.
- Identificar y documentar la metodología propuesta.

1. ESTADO DEL ARTE

Luego de la reglamentación de la ley 697 de 2001(UPME, 2007), se crea la Red Colombiana de Investigación en Eficiencia Energética RECIEE compuesta por 13 grupos de investigación. En el marco de la Red se realizaron congresos internacionales en donde se presentaron los resultados de proyectos de investigación, como lo menciona en el documento de elaboración de la RED RECIEE el ingeniero Omar Prias el relacionado con el Sistema de Gestión Integral de Energía dio origen a una línea con impacto en el sector productivo en un Programa Estratégico Nacional que ha contribuido a llevar al país al estado del arte mundial en temas de gestión (RECIEE, 2003).

El Modelo de Gestión Integral de la Energía para el Sector Productivo se obtiene del resultado del "Programa de Gestión Integral de la Energía para el Sector Productivo Nacional" financiado por la UPME y Colciencias durante los años 2006-2007, y desarrollado por los Grupos de Investigación en Gestión Eficiente de la Energía, Kaí, de la Universidad del Atlántico y el Grupo de Investigación en Energía, GIEN, de la Universidad Autónoma del Occidente en coordinación con Omar Prias como investigador independiente (Campos, 2008).

El Sistema de Gestión Integral de la Energía (SGIE), es un sistema de gestión integrado por el conjunto de factores estructurados mediante normas, procedimientos y actuaciones que permite la materialización de las políticas, los objetivos y las metas de eficiencia energética a través de una participación de los trabajadores relacionados con la tecnología y los procesos. El SGIE constituye una parte del sistema general de gestión de la empresa.(D.-M. de gestión Montaña S, n.d.)

El SGIE se puede aplicar a una empresa independientemente del nivel de desarrollo de su sistema energético, este permitirá mediante un proceso de mejora continua en los hábitos, tecnologías, procedimientos y la operación del SGIE, alcanzar tanto el mínimo consumo energético como el mínimo costo de energía posible. El objetivo final es que

la empresa alcance una cultura energética que se verifique en el incremento de la productividad y la competitividad y la reducción del impacto ambiental.

El surgimiento de estos sistemas de Gestión y del estándar internacional NTC ISO 50001, responde a la evolución de la problemática energética a nivel mundial. En el ámbito interno de las organizaciones industriales esto se ha traducido en el desarrollo de modelos de gestión de la energía que atienden de manera integral las diferentes fuentes de mejora. La NTC ISO 50001, recoge esta perspectiva en la definición del desempeño energético al establecer que este se refiere no únicamente a la eficiencia energética (factor tecnológico) sino además al uso y al consumo de la energía, relacionados con los otros aspectos nombrados (ICONTEC, 2011).

En enero de 2012, Colombia adoptó la norma a través de la NTC ISO 50001 convirtiéndose en uno de los países pioneros en la adopción de este estándar. Bajo este incentivo, entidades nacionales de carácter público y privado han promovido la adopción de SGIE y se espera una amplia dinámica en el área para los próximos años.

Dentro de su reglamentación, el estándar internacional define que *“la organización debe establecer, implementar y mantener objetivos energéticos y metas energéticas documentados correspondientes a las funciones, niveles, procesos o instalaciones pertinentes dentro de la organización. Los objetivos y metas deben ser coherentes con la política energética. Las metas deben ser coherentes con los objetivos.”*(ICONTEC, 2011)

“Cuando una organización establece y revisa sus objetivos y metas, debe tener en cuenta los usos significativos de la energía y las oportunidades de mejora del desempeño energético. También debe considerar sus condiciones financieras así como las opciones tecnológicas” (Numeral 4.4.6 Norma NTC ISO 50001) (ICONTEC, 2011)

Teniendo en cuenta lo anterior, los objetivos y metas energética que la organización establece deben atender las opciones tecnológicas y las condiciones financieras de la empresa enmarcadas en los planes de acción que se implementan bajo el Sistema de

Gestión de la Energía, se debe entonces, instaurar mecanismos de financiación de proyectos que respondan a estas necesidades.

En los últimos años el estado ha formulado políticas que generan un ambiente propicio para impulsar la gestión energética en el país, es el caso de la ley 697 de 2001 la cual fomenta el uso racional y eficiente de la energía como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, promoviendo los proyectos de Uso Racional de Energía y la creación del PROURE mediante el informe presentado por la consultoría liderada por el ingeniero Omar Prias Caicedo (Minminas, 2001).

Para el 2012 el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, genera mecanismos para exclusión de IVA y deducción de renta para elementos y equipos que se destinen a la disminución del consumo de energía esta reducción se basa en las metas del PROURE donde la UPME se encarga del concepto técnico.

Entre los equipos más importantes en disminución de consumo de energía se encuentran los motores de alta eficiencia y el aprovechamiento de calor residual como las más pertinentes para optar a dichos beneficios, de igual forma se cuenta con incentivos para el diseño e implementación de SGE_n, aplicable a elementos y equipos de medición que forman parte del SGE, previa verificación a partir de la constancia emitida por ente certificador acreditado en NTC ISO 50001. Las otras categorías aplicables son transporte masivo, uso del tren, transporte limpio y proyectos demostrativos o de medición de Fuentes no Convencionales de energía (MINMINAS, 2017),

Este escenario brinda a la industria un respaldo para el fomento de proyectos piloto y de programas que promuevan la Integración del diagnóstico energético a la estructura, organización, planeación, régimen, tecnología, control de procesos y competencia operacional y que eleven significativamente la cultura energética del personal clave de la empresa e incentiven la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía.

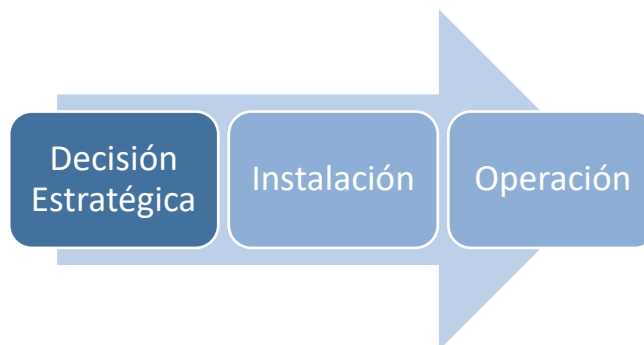
Respondiendo a la dinámica que se viene presentando, desde el año 2007 con el proyecto Consolidación de la Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética y su impacto en el sector productivo bajo los estándares internacionales, el

cual cuenta dentro de sus objetivos con la integración del sector productivo mediante el desarrollo de proyectos de gestión energética con impacto en la productividad y competitividad de la industria, bajo esta premisa se está llevando a cabo en 50 empresas beneficiarias la realización de actividades para orientar las decisiones estratégicas adicional, se lleva a cabo la implementación del Sistema de Gestión de la Energía bajo los lineamientos de la NTC/ISO 50001 en 25 empresas.

La mejora en el desempeño energético y en la productividad, representan una oportunidad de profundización con potencial real de impacto en la industria, que pueden abordarse tanto desde las herramientas de gestión, la identificación de proyectos y los mecanismos de financiación desarrolladas en el ámbito nacional, como desde los referentes internacionales que continúan en proceso de fortalecimiento gracias a la promoción de los estándares en Sistemas de Gestión de Energía y especialmente el nuevo impulso generado con el surgimiento de la NTC ISO 50001.

La estructura del Sistema de Gestión Integral de la Energía SGIE en las industrias debe cumplir tres fases ininterrumpidas: Decisión Estratégica, Instalación y Operación, como lo muestra la Figura 2.

Figura 2 Estructura de un SGIE



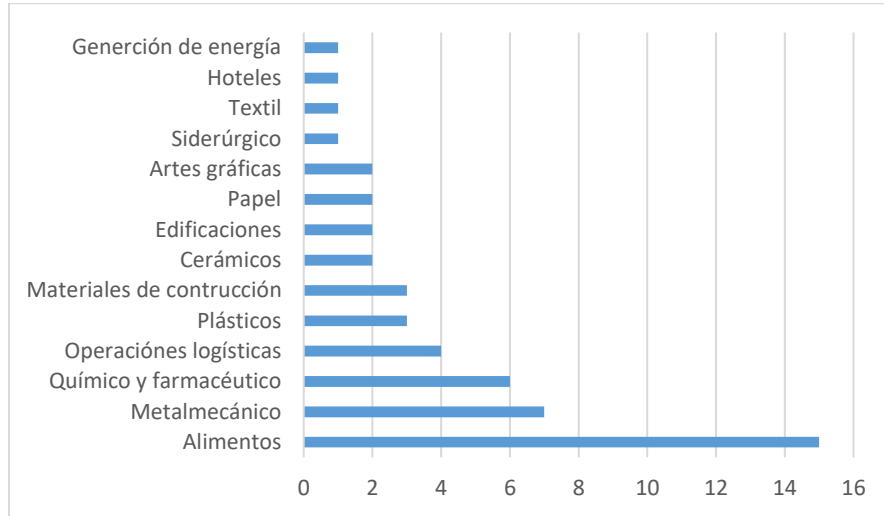
Fuente: Elaboración GRISEC. RED RECIEE

Al respecto el Grupo de investigación del sector energético colombiano - GRISEC, presenta la estructura del Sistema de Gestión Integral de la Energía - SGIE, las tres etapas impulsan al desarrollo cultural, técnico y organizacional que pueda acoger la operación del SGIE.(Prias et al., 2013)

La etapa de Decisión Estratégica identifica las oportunidades de mejora que tiene la empresa y que podría obtener implementando el Sistema de Gestión Integral de la Energía, este primer paso se logra siempre y cuando se cuente con el compromiso de la alta dirección para destinar recursos humanos y materiales y realizar el cambio organizacional requerido, convencida de que las recuperaciones de los potenciales de reducción de costos identificados permiten superar con creces la inversión a realizar, impactando la productividad y la competitividad de la empresa.

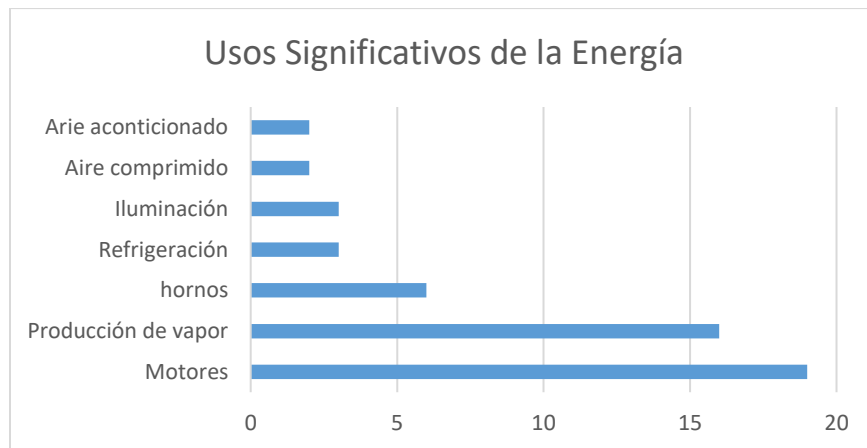
La implementación de esta etapa en los diferentes sectores productivos del país tiene un carácter estratégico por cuanto es la base para conocer como orientar el marco regulatorio y legal existente hacia la toma de decisiones a nivel empresarial que la favorezcan. Así mismo tiene un carácter táctico para lograr una metodología, guía práctica y norma generalizada que motive la gestión integral hacia el uso eficiente de la energía (PEN-SGIE, 2013).

En el marco del SGIE, la diversidad de empresas beneficiadas resulta representativa, como lo muestra la Figura 3, logrando un cubrimiento de sectores con distintos potenciales de crecimiento y capacidad de posicionamiento.

Figura 3. Distribución por sectores de las empresas beneficiarias del programa

Fuente: Elaboración RED RECIEE

De igual forma fue posible establecer los principales usos significativos de la energía, gracias al levantamiento de información y el censo de carga que se llevó a cabo en cada empresa, los principales usos en la industria se ven representados por los motores y las calderas para la producción de vapor, como lo muestra la Figura 4 a continuación.

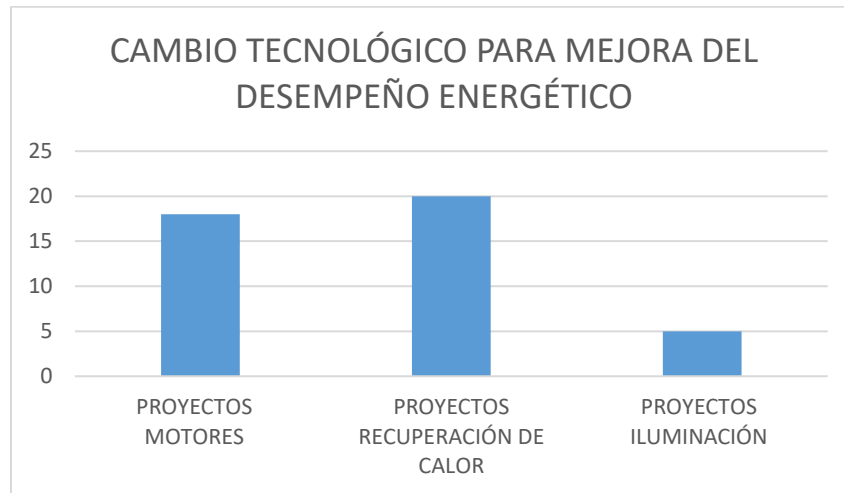
Figura 4 Usos Significativos de la Energía

Fuente: Elaboración Propia datos RED RECIEE

Para el mismo estudio se identificaron los proyectos de cambio tecnológico que contribuyen a una mejora del desempeño energético de la empresa; la Figura 5 relaciona los principales

cambios reconocidos en las compañías, es de aclarar que los proyectos identificados tienen sus particularidades, dependiendo del uso que como elemento de un sistema compuesto se le dé a la tecnología propuesta.

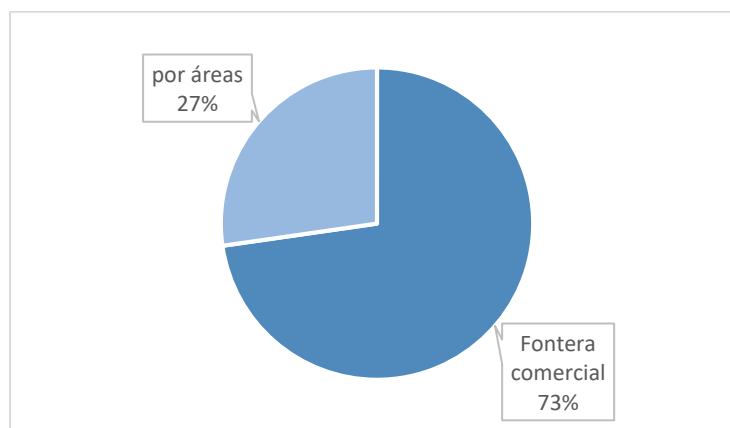
Figura 5 Tecnología propuesta para la mejora del desempeño energético



Fuente: Elaboración Propia datos RED RECIEE

Del mismo modo se identificaron las capacidades de medición de la industria; es importante resaltar que no se encuentra correlación entre el nivel de medición de los energéticos y el tamaño de la industria, ni el sector industrial al que corresponde, lo que es claro, es que, aunque la muestra es pequeña, refleja la situación actual de la industria colombiana, donde no se cuenta con un adecuado sistema de medición energético.

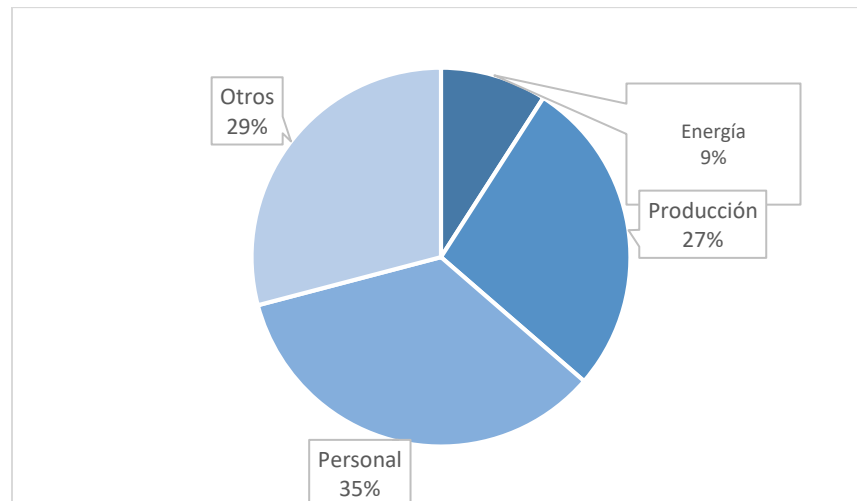
Figura 6 Medición energética en la industria



Fuente: Elaboración Propia datos RED RECIEE

Por último, se describe en la Figura 7 la representación de los costos de la energía en los costos totales de las compañías.

Figura 7 Porcentaje de la energía en los costos totales de la empresa



Fuente: Elaboración Propia datos RED RECIEE

La metodología empleada por el SGIE en la caracterización de las empresas beneficiarias permitió estimar potenciales de ahorro no asociados a la producción y potenciales asociados a cambios tecnológicos Tabla 1. En la primera categoría se encuentran prácticas como disminuir el tiempo en vacío de equipos, cambiar esquemas de producción para impactar el consumo o la adopción de programas de mantenimiento centrados en eficiencia energética. La segunda categoría incluye prácticas como sustitución de equipos por otros más eficientes, repotenciación tecnológica o el diseño de nuevos procesos productivos con criterios de eficiencia energética

Los potenciales estimados a nivel nacional se clasificaron en asociados a energía eléctrica y asociados a energía térmica, categoría que incluía los usos finales relacionados con carbón y gas natural como energéticos primarios.

Tabla 1 Resumen de potenciales de ahorro por región

Región	Eléctrico		Térmico		Total Eléctrico.	Total Térmico.
	No asociados a la producción	Cambio tecnológico	No asociados a la producción	Cambio tecnológico		
Atlántico	25%	11%	18%	15%	35%	18%
Santander	5%	8%	8%	8%	13%	8%
Valle	4%	7%	12%	8%	11%	20%
Antioquia	10%	25%	6%	15%	35%	21%
Bogotá D.C	5%	11%	7%	6%	16%	13%

Fuente: Elaboración RED RECIEE

El análisis de los resultados obtenidos muestra que el porcentaje esperado de ahorros de energía eléctrica asociados a gestión para una organización puede estar entre el 5% y el 15% sobre el consumo eléctrico inicial de la empresa, con el 80% de las empresas del programa ubicándose en este rango. Por otro lado, se observa que el ahorro esperado por cambios tecnológico se acerca a un 8% o al 25% según el estado tecnológico de las empresas (PEN-SGIE, 2013).

Dentro del esquema para el desarrollo de objetivo y metas de un proyecto, se concibe desarrollar un análisis de factibilidad del proyecto plantado. Según (SAPAG, 2007) para la evaluación de un proyecto se debe tomar como base que todos los recursos son escasos, entonces se trata de seleccionar la alternativa que contribuya a los objetivos de la empresa y que tengan ventajas para su implementación.

En la metodología de evaluación de proyectos, se cuenta con las siguientes fases para la formulación, como lo menciona (Mokate, 2010),

- Identificación
- Perfil
- Prefactibilidad
- Factibilidad.

La fase de identificación se define el objetivo que se propone lograr y donde se determina si el objetivo planteado se puede realizar con medidas que sean de menor costos y esfuerzo

que el desarrollo del proyecto planteado. El diagnóstico en esta fase es de vital importancia ya que será necesario conocer las condiciones que se esperan modificar a través del proyecto e identificar la situación actual con el fin de dimensionar la magnitud del proyecto planteado y algunas alternativas.

Por su parte la fase del perfil plantea las alternativas que pueden atender al cumplimiento del objetivo identificado, y su viabilidad frente a variables técnicas, organizacionales y financieras con las que cuenta la empresa.

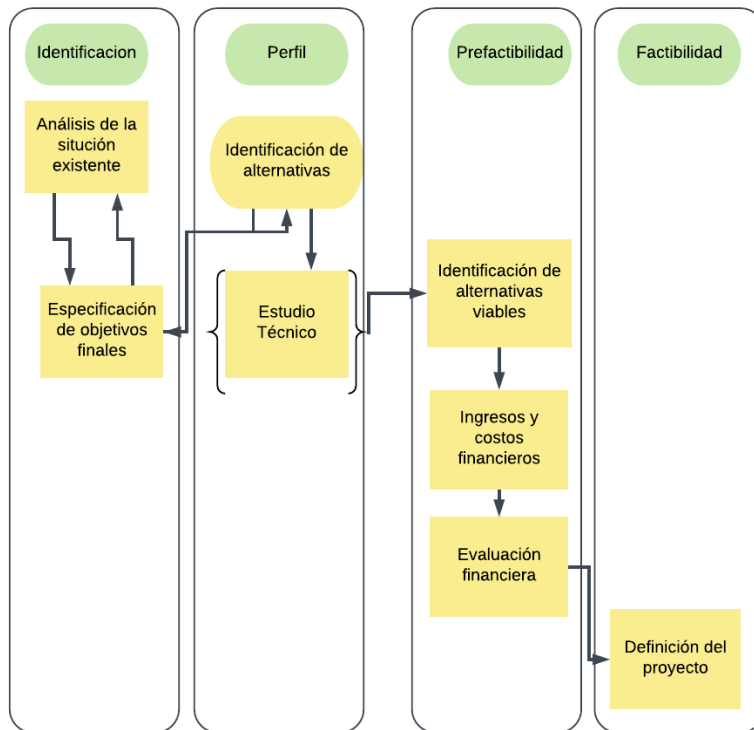
Por otro lado, la fase de prefactibilidad reducirá las incertidumbres que se tengan frente a las alternativas planteadas, con el fin de seleccionar la mejor alternativa identificada, con la utilización de herramienta de decisión, como son los indicadores financieros planteados para cada alternativa.

Dentro de las herramientas de decisión, se deben tener en cuenta estudios, técnicos, financieros, que soporte la decisión de llevar a cabo el proyecto. De igual forma será necesario generar indicadores que establezcan un diferenciador en cada alternativa planteada, los indicadores propuestos se exponen a continuación.

- Valor Presente Neto (VPN): Es el valor presente de los saldos del proyecto de cada periodo; si el $VPN > 0$ el proyecto es aceptable
- Tasa Interna de Retorno (TIR): Es la tasa de interés que iguala en el tiempo los ingresos y egresos de un flujo de caja y es la rentabilidad que ganan los fondos que permanecen en el proyecto.; un proyecto es rentable cuando la TIR es mayor al costo del capital mínimo requerido por los accionistas.
- Tasa de descuento (WACC): Es la tasa que se utiliza para determinar el valor presente de los flujos futuros que genera el proyecto, corresponde al costo de oportunidad o tasa mínima que el inversionista le exige al proyecto frente a otras alternativas.
- Análisis de sensibilidad: permitirá evaluar la sensibilidad de la evaluación realizada frente a variaciones de algunos de los parámetros de decisión.

Para finalizar se cuenta con la fase de factibilidad en la que se genera decisión definitiva sobre la realización del proyecto, proponiendo cronogramas de actividades, y en algunos casos reprogramación de la inversión o redimensionamiento del proyecto.

Figura 8 Esquema de formulación y evaluación de proyectos



Fuente: (Mokate, 2010)

En un proyecto de gestión energética los estudios técnicos deben reflejar no solo la contribución al desempeño energético y por ende a la disminución del consumo de energía, sino también se debe reflejar el conocimiento sobre las mejoras en productividad y competitividad de la empresa, con el fin de facilitar la selección de alternativas tecnológicas, que contribuyan a optimizar los requerimientos de producción, estimando los ahorros correspondientes a dicha optimización, que beneficien el análisis financiero de la solución energética planteada.

Hasta aquí no hay ningún aporte en el estado del arte, es solamente un resumen del PEN-SGIE; considero que debe ampliar el último párrafo con el **estado del arte en la evaluación tecnológica y financiera**, que es parte constitutiva del trabajo de investigación.

2.PROPUUESTA METODOLÓGICA

En el presente trabajo se desarrolla una metodológica para la evaluación tecnológica y financiera de proyectos de eficiencia energética que incluye nuevos factores e indicadores, adicionales al análisis por cambio tecnológico clásica, en este capítulo se describe la justificación y los elementos que la componen.

Justificación

Esta metodología constituye el resultado de una investigación que partió de la identificación de la baja adquisición de productos financieros e incentivos tributarios, que se han generado como parte de las políticas para incentivar la optimización de los usos finales de energía en la industria,; parte de estas iniciativas se desarrollan desde la Unidad de Planeamiento Minero Energético UPME (Colombia, n.d.), desde la cual se aplican las solicitudes de certificación para la obtención de incentivos tributarios en exclusión de IVA y deducción especial sobre renta y complementarios como lo establece el Decreto 2143 del Ministerio de Minas y Energía,(Energía, 2014) la UPME registraba para el 2017, 45 solicitudes, realizadas por los sectores de industria, transporte y para proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía FNCE, los cuales se describen a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2 Solicitudes recibidas para acceder a incentivos tributarios

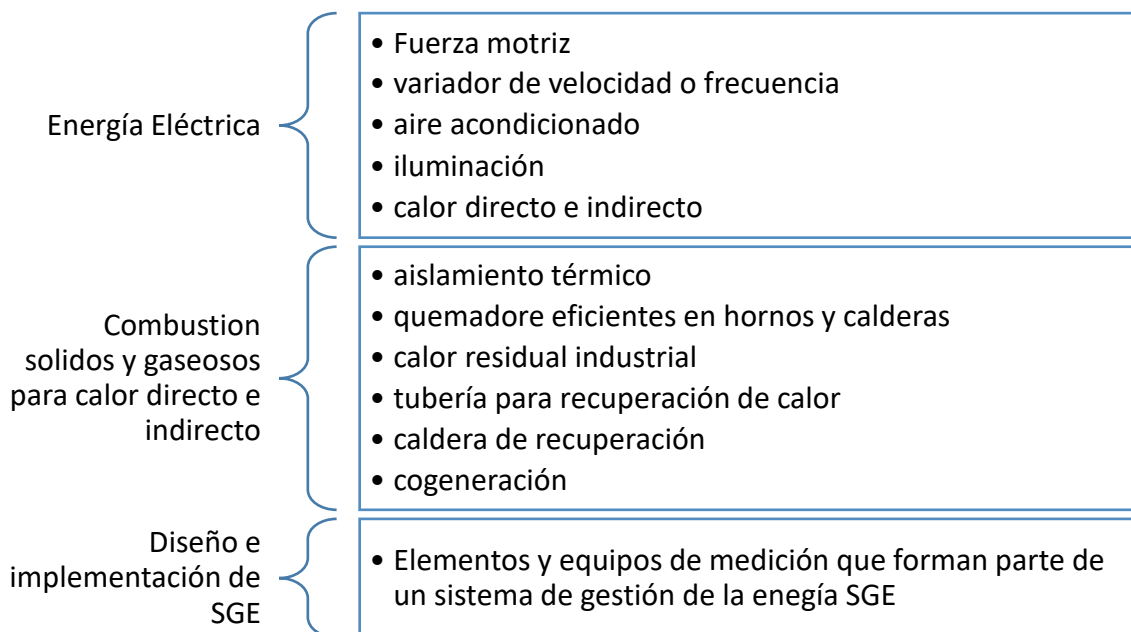
SOLICITUDES RECIBIDAS POR SUBPROGRAMA Y LINEA DE ACCIÓN			
SUBPROGRAMAS	LINEAS DE ACCIÓN	SOLICITUDES	%
Optimización del uso de la energía eléctrica para fuerza motriz	Promover la sustitución de los motores actuales por motores de alta eficiencia	7	15%

Optimización de procesos de combustión	Promover el aprovechamiento de calor residual generado en procesos de combustión	24	53%
Reconversión tecnológica del parque automotor	Promover la utilización de vehículos eléctricos e híbridos en los sistemas de transporte masivo	6	14%
Promoción del uso de las Fuentes no Convencionales de energía.	Desarrollo de proyectos demostrativos FNCE	3	7%
	Caracterización o medición de potenciales de FNCE	5	11%

Fuente: (UPME, 2017)

Adicional a las solicitudes presentadas en la Tabla 2, y gracias a la Resolución 585 del 2 de octubre de 2017 se cuenta con beneficios tributarios para los proyectos descritos en la Figura 9 de eficiencia energética / gestión energética.

Figura 9 Proyectos gestión energética con incentivos



Fuente: Elaboración propia

Por su lado el sector financiero ha generado líneas de crédito con el fin de facilitar la incorporación e implementación de instrumentos que promuevan la financiación de programas y proyectos de eficiencia energética.

Actualmente existen 26 líneas de crédito de la banca de primer piso, orientadas a incentivar y apoyar las acciones que promuevan la eficiencia energética.

Tabla 3 líneas de crédito banca comercial

Líneas de crédito	No. Líneas de crédito	Descripción
Eficiencia energética	11	proyectos empresariales que desarrollen actividades para el mejoramiento de la ecoeficiencia en la organización, a través del uso racional y eficiente de la energía
Reconversión tecnológica y producción más limpia	5	Proyectos de energías renovables
Energías renovables	5	Reconversión tecnológica y en proyectos de producción más limpia, con miras a disminuir las emisiones de carbono.
Infraestructura sostenible	3	Diseño, construcción, reconstrucción, instalación y operación de proyectos enmarcados en los principios de infraestructura sostenible.
Identificación de áreas de mejora en ecoeficiencia	2	Asesoría por parte de entidades o expertos en temas ambientales, con el fin de que los clientes corporativos puedan identificar áreas de mejora en la ecoeficiencia de su operación, obtengan certificaciones ambientales (ISO 14001) y puedan realizar el cálculo de huella de carbono.

Fuente: asobancaria

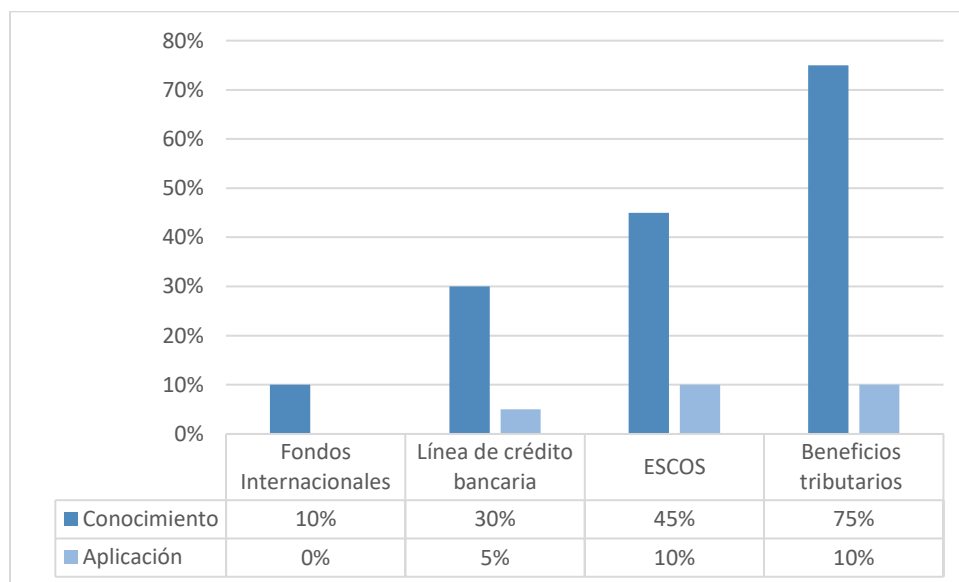
La banca de fomento ha canalizado recursos para incentivar al sector privado con el fin de desarrollar buenas prácticas, según el (Bid – Bancoldex, n.d.) En los últimos años, estos han otorgado cerca de US20\$millones para proyectos verdes, de los cuales se calcula se

han beneficiado en Colombia tan solo un promedio de 8.000 MIPYMES desde el 2008 al 2016, impactando en un 15% la productividad y competitividad de las empresas, teniendo periodos de amortización del financiamiento de 3 a 5 años.

En el marco del diplomado de gestión energética de la Cámara de Comercio de Bogotá, desarrollado el segundo semestre de 2017 financiado por el SENA, con participantes principalmente de empresas del sector eléctrico, se realizó una encuesta a 14 representantes de la oferta y 15 representantes de la demanda de motores eficientes en la industria, sobre el conocimiento que tenían al respecto de los mecanismos de financiación aplicables a proyectos de eficiencia energética, en el cual se reflejó un conocimiento amplio sobre este tipo de beneficios como lo muestra la Figura 10.(D.-M. Montaña S, 2018)

Sin embargo, en una segunda pregunta, se consultó sobre la aplicación de dichos mecanismos, aun cuando la muestra no es representativa, se pueden identificar factores que inciden en el comportamiento del mercado, encontrando una baja aplicación y evidenciando una falta de interés por parte de la industria para la aplicación de apalancamientos para la puesta en marcha de proyectos de eficiencia energética.

Figura 10 Conocimientos sobre los mecanismos de financiación para eficiencia energética y su aplicación



Fuente: Elaboración propia

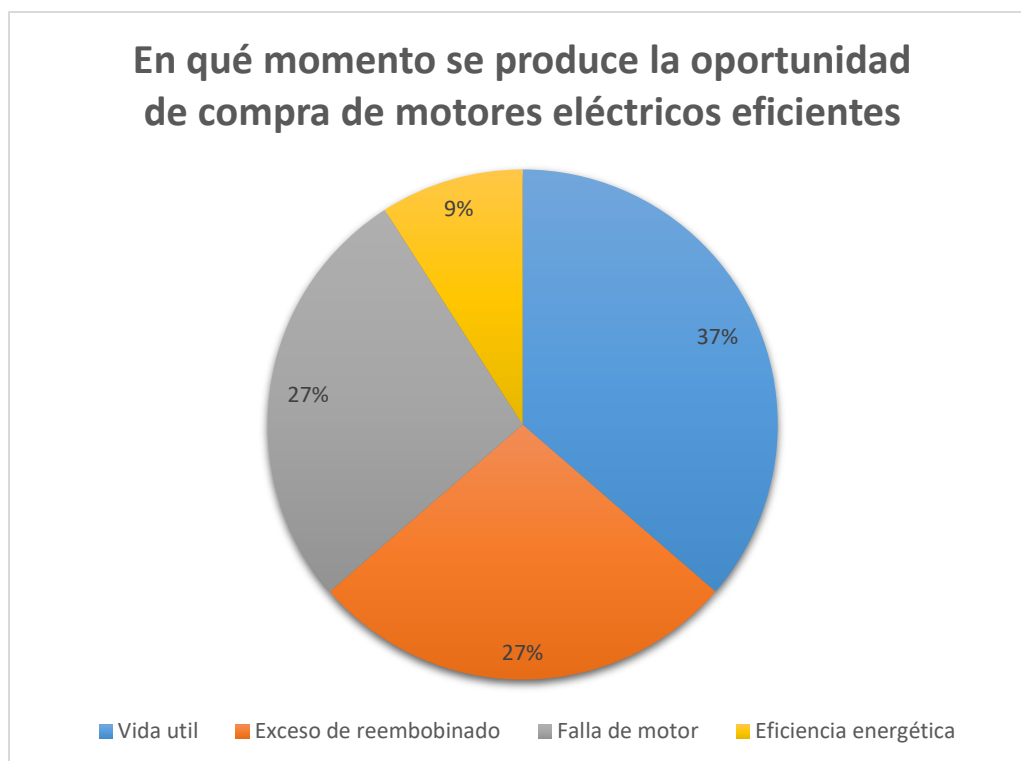
Adicional, para cada grupo objetivo se tuvieron en cuenta preguntas relacionadas con la

compra de tecnología eficiente, en este caso se relacionan las respuestas de los encuestados en cuanto a la compra y venta de motores de alta eficiencia:

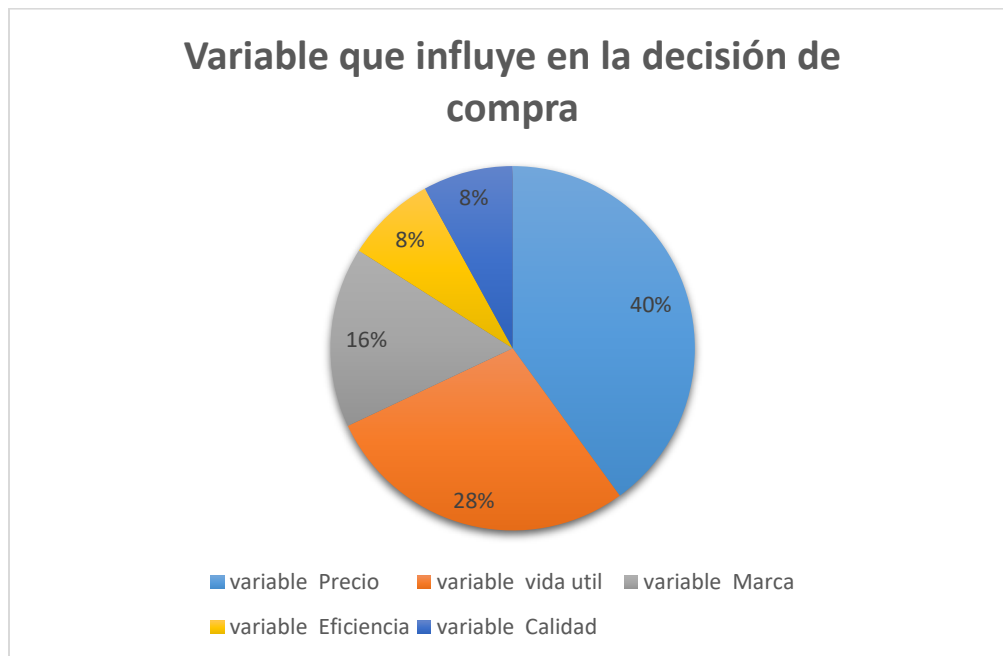
- Variables que influyen en la decisión de compra (precio, vida útil, eficiencia energética, marca, otro)
- En qué momento se produce la oportunidad de compra de motores eléctricos (ejemplo: maquina nueva que incluye un motor, el motor anterior ha fallado y no existe oportunidad de recuperación, decisión por eficiencia energética)

Los resultados de la encuesta se presentan a continuación:

Figura 11 En qué momento se produce la oportunidad de compra



Fuente: Elaboración propia

Figura 12 Variable que influye en la decisión de compra

Fuente: Elaboración propia

Estas graficas exponen el comportamiento del mercado frente a los apalancamientos financieros y el cambio hacia tecnologías más eficientes en sus procesos.

Por un lado, refleja el esfuerzo que desde el gobierno se ha realizado para informar y realizar capacitaciones orientadas a conocer los incentivos con los que cuentan los proyectos de eficiencia energética, y por otro el bajo interés de los industriales por acceder a la financiación o incentivos ofrecidos.

Como lo evidencia la figura 11 el empresario toma la decisión de comprar un equipo nuevo, en el momento en que el equipo actual falla, sin percatarse del bajo rendimiento, los altos costos de operación y la baja calidad de los productos que generan equipos con bajas eficiencias y con altos desgastes, en el mercado, disminuir los costos de proceso puede ser significativo en el indicador de competitividad de una empresa.

Por otro lado, manifiesta que la variable relevante a la hora de tomar la decisión para la adquisición es el precio del equipo, sin tener en cuenta la eficiencia, y el costo de operación de los equipos. Este comportamiento refleja el desconocimiento que la industria tiene frente a sus procesos productivos relacionados con la energía, dado posiblemente, por el bajo

nivel que tienen los costos de la energía comparados con los costos de personal o producción en la matriz de costos de la empresa Figura 7, sin ir más allá de la identificación de las variables operacionales que afectan en su conjunto el cambio de la tecnología y que repercuten directamente en la producción.

Por esta razón es importante, realizar un diagnóstico energético, que no solo tenga en cuenta la disminución del consumo de energía, ya sea por gestión o por cambio tecnológico, sino entender como estos cambios pueden mejorar la productividad y por ende la competitividad de la empresa.

2.1 Componentes metodológicos

Teniendo en cuenta lo anterior, se propone incluir dentro de la metodología desarrollada por los grupos de investigación KAI de la universidad del Atlántico, el grupo GIEN de la universidad Autónoma de Occidente y el grupo de investigación GRISSEC de la Universidad Nacional de Colombia.(UPME, 2007), una metodología que identifique las ventajas competitivas con las que contaría una empresa, en el caso de desarrollar proyectos de cambio tecnológico y las oportunidades financieras para adquirir la tecnología.

En consecuencia, se debe tener en cuenta en la evaluación financiera los ahorros y beneficios otorgados por el cambio tecnológico y los incrementos de la producción y la disminución de costos por los impactos transversales que el cambio tecnológico trae consigo en la mejora de los procesos productivos.

La metodología desarrollada por las universidades, plantea un diagnóstico energético, que identifique oportunidades de mejora para el desempeño energético, basados en la referencia de los consumos históricos de consumo y producción, la línea base, referencia los ahorros que puede tener la compañía, ya sea por mejoras en la gestión de los procesos para disminuir la energía no asociada a la producción, o la contribución de la eficiencia de la tecnología para disminuir el consumo de energía asociada directamente a la producción.

La propuesta metodológica planea identificar las bondades de la tecnología eficiente, en la contribución de no solo menores consumos de energía, sino en la optimización de la producción mediante la mejora de, por ejemplo, los tiempos requeridos para elaborar un

producto, la disminución de insumos de producción y costos de producción, lo que traduce en un aumento en la rentabilidad del proceso.

Según el esquema de formulación y evaluación de proyectos, Figura 8, se debe realizar una identificación de las necesidades de la compañía para desarrollar el proyecto, esta etapa conocida como diagnóstico energético, es necesario conocer a fondo los procesos energético productivos de la empresa, para evaluar globalmente la complejidad del proyecto y su contribución al objetivo final de la compañía, el aumento de la productividad y la competitividad.

2.1.1 Decisión estratégica

La etapa de decisión estratégica tiene dos fases, descritas a continuación según los planteado en la Guía de Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía (Prias et al., 2013):

1. Diagnóstico de recorrido

- a. Compromiso de la alta gerencia: se realiza un acercamiento, para la presentación del trabajo a desarrollar en la empresa y establecer los compromisos, entre los que se encuentran, la disponibilidad de la información y las condiciones de trabajo para el gestor involucrado en el proceso.
- b. Diagnóstico de recorrido: se realiza un recorrido por las instalaciones de la empresa con el fin de definir el diagrama energético productivo, conocer el proceso productivo e identificar oportunidades de mejora.

2. Caracterización energética (Prias et al., 2013)

- a. Elaboración de la matriz energética de la empresa: la matriz energética corresponde a la comparación cuantitativa de los gastos energéticos de la empresa por tipo de energético primario. Se debe describir en unidades energéticas y monetarias e indicar el porcentaje de los costos energéticos frente a los costos totales de la empresa.

- b. Levantamiento de información relacionada con las áreas, procesos y equipos de uso significativo de la energía
- c. Elaboración del Pareto: con la información obtenida del censo de carga realizado en el punto anterior, se realiza un Pareto con el fin de identificar el 20% de los portadores energéticos, áreas o equipos de las empresas que producen el 80% del consumo total equivalente.
- d. Elaboración del diagrama energético productivo: el objetivo de este diagrama identifique la entra y salida de los energéticos primarios, de igual forma se conocen los procesos, líneas de producción o equipos donde se usan los energéticos primarios, y secundarios de la empresa.
- e. Elaboración de línea de base energética utilizando información histórica de consumo y producción. Este grafico muestra la variación simultánea del consumo energético con la producción, de igual forma determina cuantitativamente el valor de la energía no asociada a la producción.

Según la norma NTC ISO 50001 (ICONTEC, 2011), la línea base es la referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético, esta línea se calcula por métodos estadísticos de aproximación del consumo energético empelado en la fabricación o transformación de la materia prima, en el caso del sector industrial. Con esta medida es posible tener una base para calcular los potenciales ahorros a generar a partir la aplicación de sistema de gestión.

Antes de determinar la línea base, es necesario determinar si el número de datos con el que se cuenta es estadísticamente correcto para representar el modelo, la siguiente ecuación representa el mínimo número de datos con el que se debe contar.

$$n_0 = \frac{z^2 * cv^2}{e^2}$$

Donde:

n_0 = número mínimo de datos; inicialmente se considerará tener un numero de datos superior a 30.

Z=valor de la distribución normal estándar, considerando un número de datos mayor a 30 se verifica el valor en una tabla t student

E= nivel de precisión con el cual el modelo reflejara el valor real de consumo

Cv= coeficiente de varianza estándar, este valor es el valor promedio de los datos de la variable dependiente, en el caso del modelo es la variable de consumo.

Tabla 4 T-Student distribución

Nº de Lectura Tamaño de la muestra	Nivel de confianza			
	95%	90%	80%	50%
10	2,26	1,83	1,38	0,7
20	2,9	2,09	1,73	1,33
25	2,06	1,71	1,32	0,68
26	2,06	1,71	1,32	1,68
27	2,06	1,71	1,31	0,68
28	2,05	1,7	1,31	0,68
29	2,05	1,7	1,31	0,68
30	2,05	1,7	1,31	0,68
?	1,96	1,64	1,28	0,67

Fuente: Probabilidad y estadística para ingenieros Ronald E.

Para la muestra se toman los datos diarios de tres meses desde febrero de 2017 a abril de 2017. Tomando el nivel de confianza más alto, y el valor de precisión en 10%, los datos mínimos requeridos son:

$$n_o = \frac{z^2 * cv^2}{e^2}$$

$$n_o = \frac{1.96^2 * 0.5^2}{0.1^2} = 96.4$$

Teniendo en cuenta que el valor de la muestra que se determinó corresponde a 90 datos, es necesario recalcular, utilizando la fórmula para el número reducido mínimo de datos que se muestra a continuación.

$$n = \frac{n_o N}{n_o + N}$$

$$n = \frac{96 * 90}{96 + 90} = 46.4$$

n = 46 datos mínimo

Es decir que, para una confiabilidad del modelo del 95, una variabilidad del 0.5 y una precisión del 10%, el modelo debe tener mínimo 46 datos.

Luego de determinar el mínimo número de datos es necesario verificar el supuesto de que el consumo de energía depende de la producción realizada o depende de otra u otras variables, en el caso concreto del análisis sobre una empresa manufacturera, es válida la suposición de la dependencia del consumo de energía con la producción dado la fuerte dependencia de esta con la energía para desarrollar sus procesos productivos, sin embargo se requiere validar la hipótesis dado que pueden existir otras variables por las que se varíe fuertemente el consumo de energía, es el caso de sectores como el de servicios donde no se refleja claramente la variable, para ello se utiliza la prueba de hipótesis o P-Value.(Campos, 2008)

Supuesto: La producción NO tiene relación con la energía

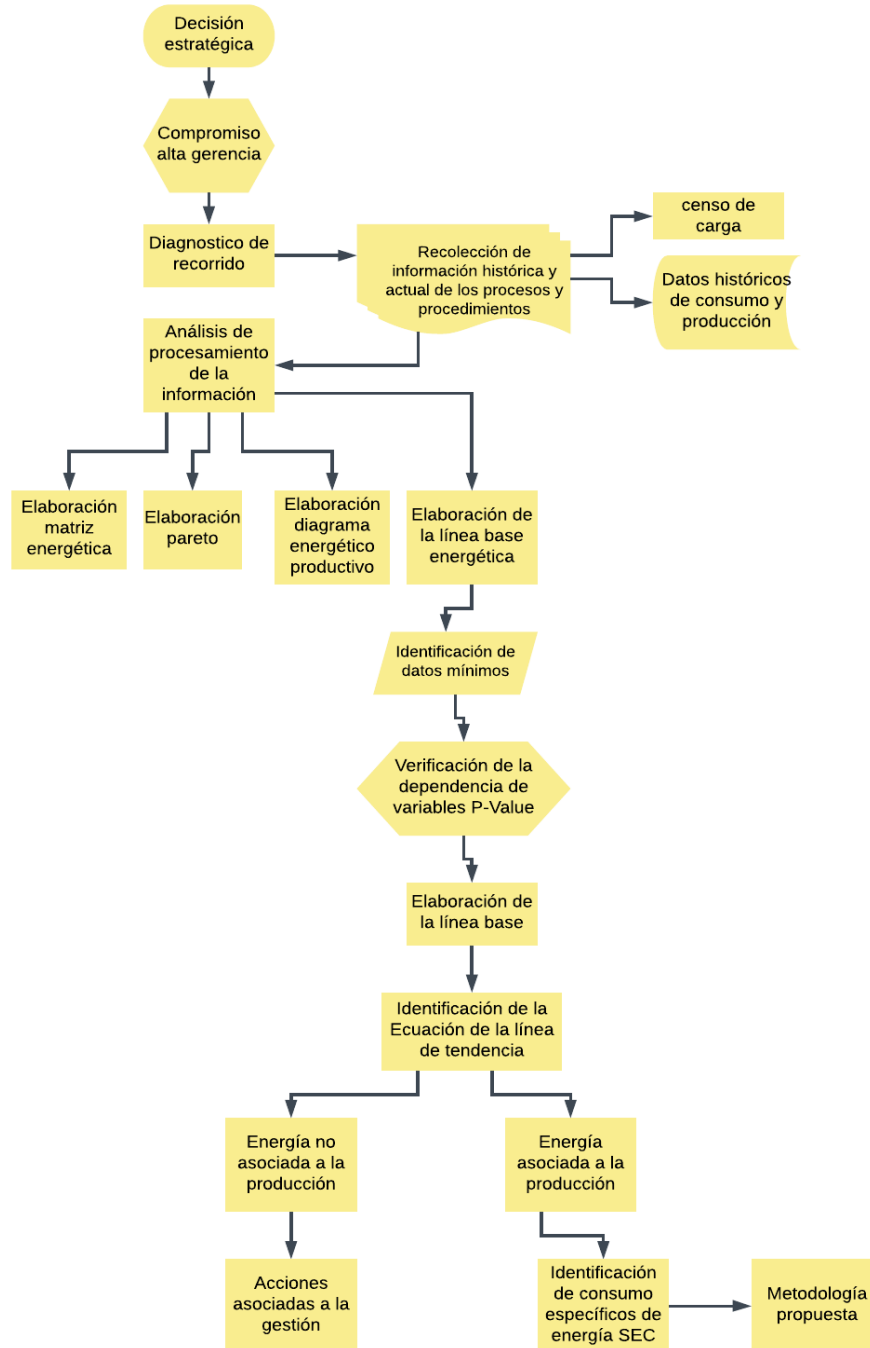
Probabilidad:

- P-Value >5%, hipótesis es válida, la producción no está relacionada con la energía.
- P-Value <5% Hipótesis no válida, es decir la producción si tiene relación con la energía.
 - f. Formulación del consumo específico de energía.
 - g. Identificación de oportunidades de mejora del desempeño energético por cambio tecnológico

El procedimiento llevado a cabo para las últimas etapas del proceso de diagnóstico energético, diferencian la metodología planteada por las universidades, ya que se plantea la utilización del consumo específico de la energía como referentes para realizar la comparación frente a la competitividad (comparación nacional e internacional), dado que la energía es un factor clave de competitividad económica, tanto por su relación con la economía, como por su impulso a la actividad industrial, lo que plantea nuevos retos tecnológicos y empresariales, por otro lado el impulso contribuye a liderar cambios tecnológicos hacia una economía baja en carbono relacionada con la industrialización. Para aprovechar el potencial, las empresas deben plantear estrategias adecuadas con el firme propósito de alcanzar los objetivos energéticos, de forma que puedan ser competitivos; por otro lado se debe entender que un aumento eficiente de la productividad está contribuyendo

directamente a la eficiencia del proceso, dado que el mayor aprovechamiento del energético utilizado, transformándolo en energía útil disminuyendo tiempos en vacío, desperdicios y baja calidad de los productos (mejora del indicador según la identificación de variables operacionales que contribuyan a la mejora del desempeño energético y la producción).

Figura 13 Decisión estratégica



Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Evaluación tecnológica

La eficiencia energética en la industria normalmente se mide en términos de consumo específico de energía SEC, el SEC es la relación entre el consumo de energía y la producción obtenida con ese consumo, la producción puede expresarse en unidades de peso, unidades de producción o unidades de longitud, según el tipo de producto, las medidas de eficiencia energética deben aplicarse sistemáticamente para obtener mejores resultados de tal forma que se puedan priorizar las variables significativas que afecten el proceso, la metodología propuesta, plantea un enfoque para aumentar el desempeño energético de las líneas de producción, identificando consumos de energía mediante monitoreos de consumos y producción permitiendo cuantificar brechas en la producción, en el proceso, de calidad y tecnológicas, identificando la causa de la ineficiencia energética del proceso y las acciones a desarrollar para la mejora del desempeño energético. (Jatinder Madan a, b, Mahesh Mani a, C, Jae Hyun Lee a & A, 2014)

1. **Formulación del consumo específico de energía – SEC.**

El consumo específico de energía de la empresa – SEC, define la energía consumida para producir o transformar la materia prima del proceso. Su indicador está dado en las unidades del energético que intervenga en el proceso por las unidades del material a procesar, por ejemplo, en una planta de plásticos el indicador correspondiente al SEC es kWh/kg.

Este indicador, servirá de referencia para la comparación de la compañía frente a referentes nacionales e internacionales, ya que proporciona información sobre la utilización de la energía en el proceso; a partir de este indicador es posible establecer las variaciones que existen en los procesos productivos de compañías de un mismo sector, la comparación permitirá reflejar oportunidades de mejora en prácticas operacionales y/o cambios por tecnología eficiente, que contribuyan a la disminución del consumo de energía.

Una vez establecida la comparación, se determina el objetivo final que la compañía considere, orientado a la disminución del indicador para mejorar sus procesos productivos y su competitividad.

En la fase de perfil de la formulación y evaluación de proyectos, se plantean las alternativas que puedan cumplir el objetivo propuesto, para ello, a continuación, se plantea la

metodología que contribuya a la disminución del SEC, con el objetivo de mejorar no solo el desempeño energético, sino también la productividad y la competitividad de la empresa.

Según el estudio realizado por (Jatinder Madan a, b, Mahesh Mani a, C, Jae Hyun Lee a & A, 2014) es posible identificar brechas energéticas entre el consumo específico teórico dado por la implementación de tecnologías eficientes y el consumo específico real con el que cuenta la empresa, a continuación, se describe el procedimiento para identificarlos:

- **Brechas en consumo específico de energía en producción: SEC_n**

Para iniciar se establece el consumo específico de energía destinado a la producción, para este caso es necesario, entonces, reconocer los tiempos de inactividad y arranque de las máquinas y las paradas por mantenimiento, de tal forma que se relacione estrictamente el consumo de energía con la producción. Este indicador sirve de referencia para comparar máquinas eficientes con tiempo de arranque menores y que requieran menos mantenimientos, dado que mide el consumo de energía del proceso, contando también el consumo en los tiempos en vacío y arranque. El SEC_n se ve representado por la relación entre el consumo de energía y la producción.

$$SEC_n = \left(\frac{\text{consumo de energía}}{\text{producción}} \right)$$

- **Brechas en consumo específico de energía en el de proceso: SEC_s** representa las pérdidas de energía producidas por la inadecuada configuración de las variables de proceso, se puede determinar teniendo la medición de consumo de energía y producción en un tiempo específico de la máquina produciendo, para ello se sugiere realizar medición puntual del consumo de energía y producción en un mismo periodo de tiempo. Con estos datos se determina la tasa de material elaborado en una hora a una velocidad determinada por la máquina y el consumo de energía consumida en ese mismo periodo de tiempo, En esta fase es necesario identificar la chatarra inherente que produce la máquina, con el fin de contabilizar estrictamente el consumo energético de la máquina para procesar materia prima elaborada que se considere en la producción. Este indicador servirá para realizar la comparación de tecnología con un mayor nivel de producción por tiempo de operación, dado que para el cálculo se tiene en cuenta el caudal másico específico de la máquina.

$$SECs = \left(\frac{\text{consumo promedio}}{\text{caudal másico específico} - \text{chatarra inherente}} \right)$$

- **Brecha en consumo específico de energía en la calidad del producto:** SECg hace referencia a la energía consumida por la producción de elementos de mala calidad, producidos por procesamientos inadecuados o limitaciones tecnológicas, no se tiene en cuenta el consumo de energía requerida para procesar la chatarra inherente. Este indicador sirve de referencia para calcular su contribución frente a maquinaria eficiente que contribuyan a la reducción de productos no conformes o reprocesos.

la siguiente ecuación relaciona el consumo específico de energía del proceso SECs, con el porcentaje de producción de mala calidad, con el fin de identificar estrictamente la energía consumida en el procesamiento de productos rechazados, con el fin de identificar solo el consumo por calidad, es necesario restar el porcentaje de chatarra inherente a la máquina.

$$SECg = \left(\frac{SECs}{1 - (\%producto\ de\ mala\ calidad\ historico - \%chatarra\ inherente)} \right)$$

- **Brecha en consumo específico de energía en la tecnológica:** SECm se establece cuando la energía está siendo utilizada en tecnología ineficiente. Cuando se adquiere una nueva tecnología, esta afecta la máquina, el proceso, la calidad y el rendimiento de producción.

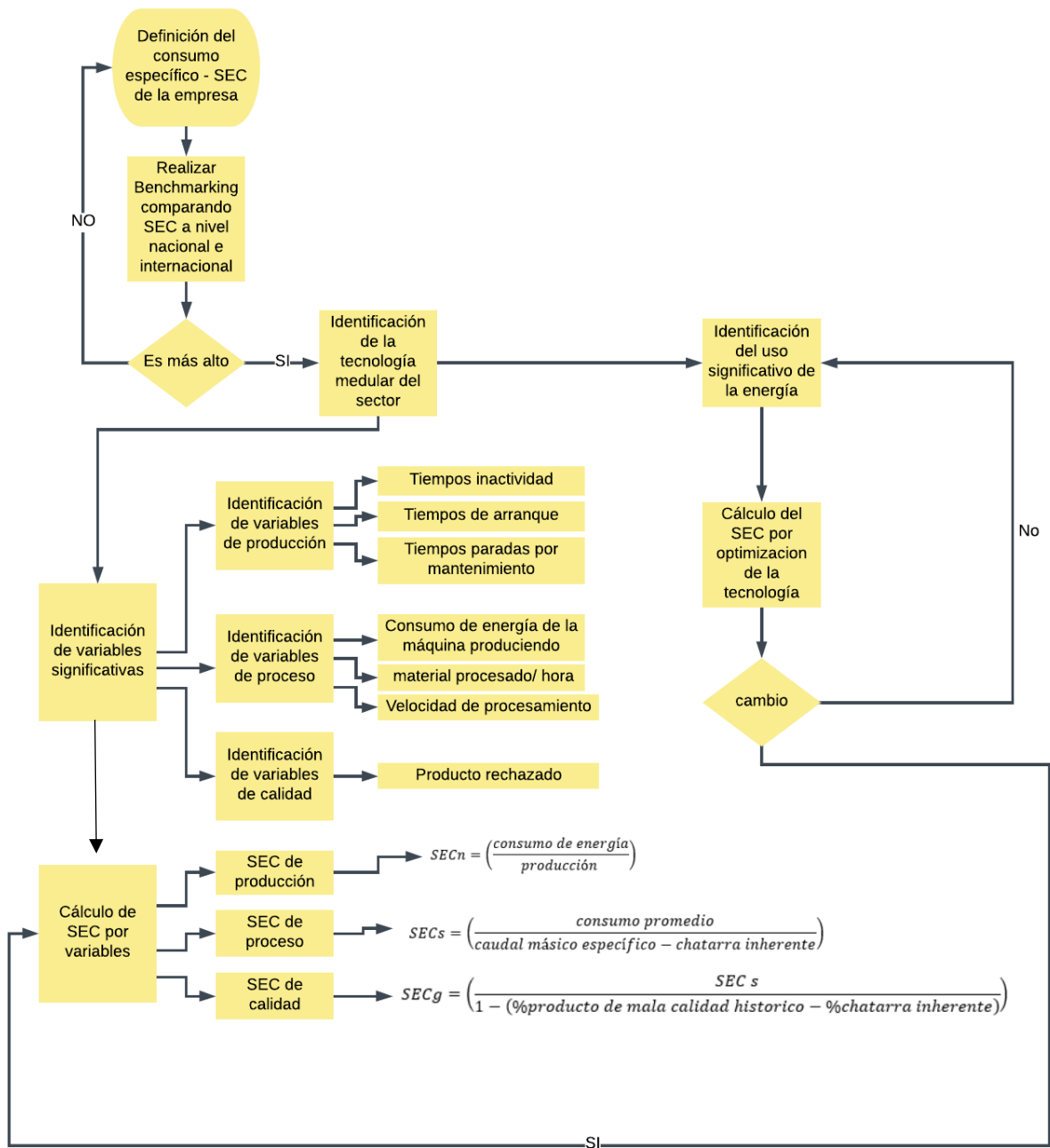
La siguiente ecuación relaciona el consumo de energía de la nueva maquinaria y la producción conforme a las condiciones óptimas del proceso, entre las que se encuentran un porcentaje menor de chatarra inherente, menor número de paradas por mantenimiento, mayor tasa procesamiento del material, entre otros.

$$SECm = \frac{\text{consumo de energía en condiciones de proceso optimizadas}}{\text{producción conforme a condiciones de proceso optimizado}}$$

En conclusión, se requiere establecer la necesidad de la disminución del consumo específico de la energía mediante la comparación nacional e internacional del indicador propuesto SEC, para ello se propone realizar un benchmarking, una vez identificado la

necesidad de disminuir dicho indicador, de identifica la tecnología medular del sector estudiado, con el fin de realizar un estudio sobre la identificación de las variables significativas que pueden afectar el consumo energético y la producción, para ello se plantea revisar las variables de producción dadas por los tiempos en vacío de la maquinaria, tiempo estimados en el arranque para comenzar la producción y los tiempos de paradas por mantenimiento, con el fin de establecer el consumo de energía en función de la producción, por otro lado se contempla realizar la identificación de variables en cuento al proceso, de tal forma que se pueda establecer variables como la velocidad de procesamiento utilizada por la máquina, el material procesado con el fin de definir el consumo de la maquina produciendo, por otra parte se identifica el indicador para la variable de calidad, con el fin de definir el consumo de energía utilizado para los productos de mala calidad. En conclusión, el cálculo de SEC para estos casos, da un punto de referencia para la empresa que piense realizar cambio tecnológico, ya que la maquina nueva generara contribuirá a generar condiciones óptimas para el proceso, reduciendo el consumo de energía y aumentando la producción al mejorar las variables significativas del proceso

Figura 14 Evaluación tecnológica



Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Evaluación financiera

Una vez identificadas las alternativas y realizado el estudio técnico propuesto, se desarrolla la etapa de prefactibilidad, donde se realizara la evaluación financiera del proyecto, de tal forma que el empresario, cuente con mecanismos que lo impulsen a la compra del equipo eficiente, para ello se plantea la evaluación financiera del proyecto, para el caso de los proyectos de Eficiencia Energética, se requieren variables para estimar los ingresos y los egresos que constituyen el flujo de caja del proyecto.

En el caso de los Ingresos, se determina a partir de los cambios de variable que generen incrementos o ahorros dados por las mejorar de tecnología o procesos, por ejemplo, la reducción de material, al reducir los desechos inherentes o mayor producción por reducir las paradas por mantenimiento.

A continuación, se listan algunos parámetros a tener en cuenta en el análisis:

- Disminución de consumos
- Reducción de horas de uso
- Valor de salvamento de la tecnología usada
- Valor de salvamento de la nueva tecnología
- Ahorros por mantenimiento
- Ahorros por menores costos de operación
- Otros

En cuanto a los egresos registrados en el flujo de caja del proyecto se pueden identificar los siguientes:

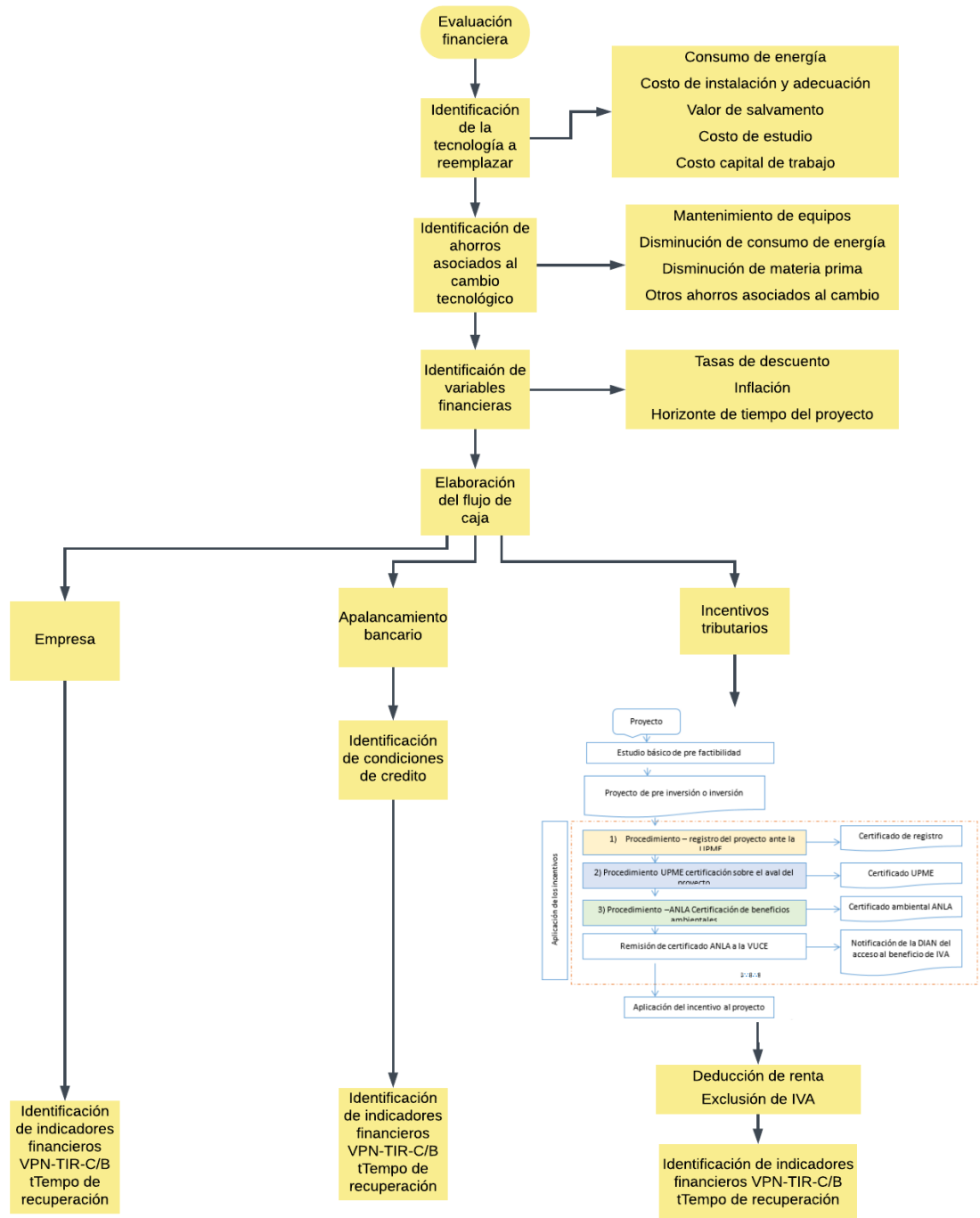
- Mayores costos de operación por una nueva tecnología
- Costos en capacitación
- Impuestos generados
- Imprevistos
- Otros gastos

Se debe tener en cuenta los estudios técnicos desarrollados para la evaluación del cambio tecnológico, con el fin de identificar las variaciones en los costos que produce la incorporación del cambio en la administración, operación y mantenimiento de la empresa.

Teniendo en cuenta las opciones de apalancamiento con las que se cuenta para el desarrollo de proyecto de eficiencia y gestión energética se evalúan las ventajas de cada opción comparando los indicadores financieros

- a. Por un lado, el industrial debe considerar la adquisición de la tecnología con fuentes de financiación propias, teniendo en cuenta las ventajas competitivas y de productividad que se reflejaran en una disminución, no solo en los costos por consumo de energía, sino también en la disminución de materia prima rechazada y aumento en la cantidad de materia prima procesada por hora, dado el descenso de las paradas por mantenimiento o arranques de máquina.
- b. En segundo lugar, no hay que olvidar las líneas de financiación bancarias, que cuentan con tasas de financiamiento competitivas, con periodos de amortización favorables, igualmente se debe considerar los ahorros fiscales sobre la renta, los cuales dejan de cancelarse por el uso de deducciones de partidas que causan ahorro interno, tales como depreciaciones, estas son aceptadas fiscalmente como una deducción.
- c. Por último, el ejercicio plantea tener en cuenta los incentivos tributarios, que se tienen para este tipo de proyectos, resaltando el trámite que se debe realizar para su aplicación.

Figura 15 Evaluación financiera



Fuente: Elaboración propia

3.DECISIÓN ESTRATÉGICA – CASO DE ESTUDIO

El sistema de gestión de la energía permite identificar potenciales de ahorro por medio de mejoras tecnológicas, mejores prácticas operacionales, entre otros, la metodología descrita a continuación hace parte del trabajo realizado durante más de 10 años por los grupos de investigación KAI de la universidad del Atlántico, el grupo GIEN de la universidad Autónoma de Occidente y el grupo de investigación GRISEC de la Universidad Nacional de Colombia.(UPME, 2007)

A continuación, se realiza la identificación y evaluación de un proceso de decisión estratégica, donde se describen los principales procesos productivos, los energéticos representativos y el manejo y utilización de la energía en la empresa.

3.1 Empresa objeto de estudio

la empresa objeto de estudio se consideró teniendo en cuenta que el sector al que perteneces tiene una participación en la industria colombina del 10%, y un consumo de energía eléctrica considerable para la transformación del material por calentamiento directo, antecedido por sectores como el productor metalúrgico y la fabricación de productos químicos (MINMINAS, 2017). De igual forma, los ahorros de energía en el sector pueden llegar a un 30% según (Rosato, Dominick V., Rosato, Donald V., Rosato, 2000), gracias a la identificación y control adecuado de las variables significativas del proceso y a la mejora de la tecnología utilizada para la transformación.

3.1.1 Descripción de la empresa

La empresa se dedica a la producción de vasos plásticos de Polipropileno PP de 7, 9, 10 y 12 onzas, y a la comercialización de películas de polipropileno para empaques flexibles y películas recubiertas para la industria gráfica. Según COLOMBIA ENTERPRISE LTDA, se encuentra en el puesto 440 de la industria manufacturera colombiana y cuenta con 60 empleados en el área de producción.

Sus ventas anuales para el año 2017 están alrededor de los 62.160.753 COP entre sus dos líneas de negocio, donde el 10% corresponde a la producción de vasos plásticos. Respecto al consumo de energía eléctrica, en los últimos tres meses del presente año el promedio de la factura eléctrica estuvo alrededor de los \$ 209.330.753 de pesos, lo que representa un 14% aproximadamente en la estructura de costos.

De acuerdo con la estructura organizacional, las áreas relacionadas directamente con la Gestión energética son:

- **Producción:** Las actividades de producción poseen un impacto sobre el consumo energético que actualmente no se tienen en cuenta dentro de la planeación energética de la planta.
- **Mantenimiento:** Las actividades de mantenimiento impactan directamente en el desempeño energético de la planta, ya que gran parte de las ineficiencias en los equipos se deben a mantenimientos que solo responden a criterios de disponibilidad y seguridad de los equipos. Por lo tanto, el área de mantenimiento debe incluir dentro de la planificación de su mantenimiento criterios de eficiencia.
- **Compras (almacén):** El área de compras debe tener en cuenta criterios de eficiencia a la hora de adquirir tecnologías y repuestos de los equipos medulares y periféricos.
- **Coordinación de HSEQ:** El sistema integrado de gestión HSEQ se encuentra en fase de implementación y por lo tanto la implementación del sistema de gestión de la energía puede ser un proceso llevado simultáneamente, con el fin de alinear requerimientos similares (documentación, comunicación, etc.)

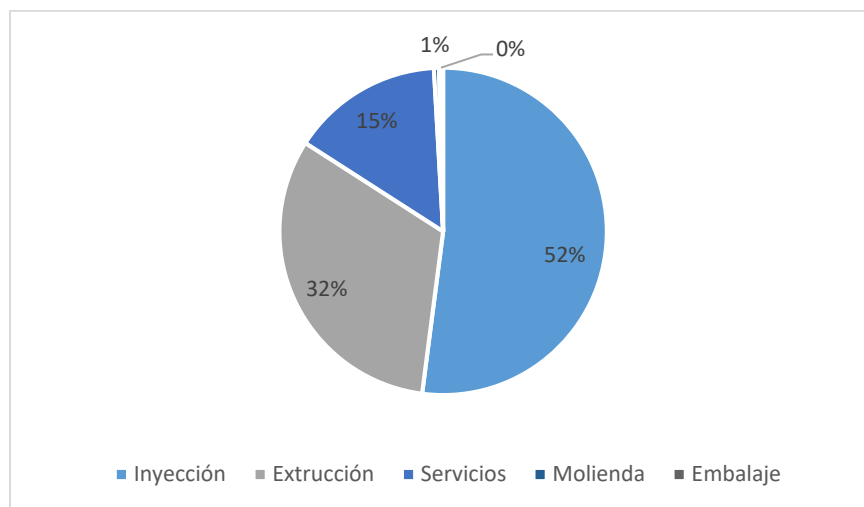
En la etapa de compromiso de la alta dirección se realizó un taller de sensibilización con el gerente administrativo, el jefe de producción y jefe de mantenimiento de la empresa.

Se realizaron 5 visitas a la planta con el objetivo de conocer el proceso productivo y realizar entrevistas al personal relacionado con los usos significativos de la energía.

3.1.2 Matriz energética

Dado que el energético primario es la energía eléctrica, se realiza la matriz energética por área, como se refleja en la Figura 16

Figura 16 Matriz energética



Fuente: Elaboración propia datos RED RECIEE

el 52% es destinado al consumo de la inyección y el 32,3% a las extrusoras. El menor consumo energético es en el área de embalado con el 0,4%. En cuanto a los servicios industriales, se observa que el 10,24% es destinado al aire comprimido y que el agua de enfriamiento corresponde al 4,41%.

3.1.3 Levantamiento de información

Para el levantamiento de información fue necesario realizar un inventario de los equipos con los que cuenta la compañía, identificando las potencias nominales y las horas de uso equivalentes a plena carga, con el fin de determinar la energía consumida por el equipo. Este procesamiento fue necesario dado la ausencia de medidores por área en la empresa, ya que solo se cuenta con el medidor en la frontera comercial.

Tabla 5 Censo de carga empresa

Proceso	Área	Equipo	Cantidad	Potencia Nominal	Unidad de potencia	U. Potencia equiv. (KW)	Horas de uso equivalentes a plena carga/día	Días de uso/meses	Energía Consumida (kWh/mes)
Servicios Industriales	Compresión	compresor Atlas	1	100	Hp	74,5699	24	30	53.690,33
		compresor Kaiser	1	100	Hp	74,5699	24	30	53.690,33
	Enfriamiento	Chiller	2	18,5	KW	18,5	24	30	26.640,00
		Torre de enfriamiento	2	10	Hp	7,45699	24	30	10.738,07
		Chiller	2	6,6	Hp	4,9216134	24	30	7.087,12
	Bombeo	bomba	2	5	Hp	3,728495	8	30	1.789,68
Extrusión	Extrusora 1	motor rodillos	1	300	Hp	223,7097	24	29,5	158.386,47
		motor sistema hidráulico rollos	2	10	Hp	7,45699	24	29,5	10.559,10
		motor sistema lubricación	1	25	Hp	18,642475	24	29,5	13.198,87
		Motor cardan	1	7,5	Hp	5,5927425	24	29,5	3.959,66
		bombas	3	1,15	KW	1,15	24	29,5	2.442,60
		motor mezcladora	1	5,5	KW	5,5	8	30	1.320,00
		resistencia	2	0,32	KW	0,32	8	30	153,60
		resistencia	2	0,2	KW	0,2	8	30	96,00
		resistencia	2	0,3	KW	0,3	8	30	144,00
	resistencia	2	1,3	KW	1,3	8	30	624,00	
	Extrusora 2	motor sistema refrigeración rodillos	3	59	KW	59	24	29,5	125.316,00
		motor Cardan	1	30	Hp	22,37097	24	30	16.107,10
		bombas sistema refrigeración	3	1,5	KW	1,5	24	29,5	3.186,00
		resistencia	2	0,32	KW	0,32	24	29,5	453,12
		resistencia	2	0,2	KW	0,2	24	29,5	283,20
		resistencia	2	0,3	KW	0,3	24	29,5	424,80
Inyección	M98	motor/recalentamiento	4	96,5	KW	96,5	24	28	259.392,00
		MOTOR MESA ELEVADORA	1	101,10	Hp	75,39	24	28	50.664,37
		Motor mesa basculante	1	55,69	Hp	41,53	24	28	27.908,34
		MOTOR PREESTIRADO	1	71	KW	71,00	24	28	47.712,00

		MOTOR TRANSPORTE DE LAMINA	1	17,99314547	KW	17,99	24	28	12.091,39
		MOTOR ANCHO LAMINA ATRÁS	1	0,114242193	Hp	0,09	24	28	57,25
		MOTOR TRANSPORTE DE LAMINA 4PLAY	1	0,55	KW	0,55	24	28	369,60
		motor/módulo de apartadores	1	0,55	KW	0,55	24	28	369,60
		motor/placa colectora movimiento horizontal	1	1,1	KW	1,1	24	28	739,20
		motores/Placa colectora movimiento vertical	1	0,55	KW	0,55	24	28	369,60
		motores/ enrolla laminas	1	0,37	KW	0,37	24	28	248,64
		motor placa apiladora	1	6,28332064	Hp	4,69	24	28	3.148,63
		BOBINADOR	1	0,37	KW	0,37	24	28	248,64
	M92	motor/módulo de apartadores	1	0,55	KW	0,55	24	28	369,60
		motores/Placa colectora movimiento vertical	1	0,55	KW	0,55	24	28	369,60
		motores/ Transporte lamina	1	0,37	KW	0,37	24	28	248,64
		motores/Mesa basculante	1	7,5	KW	7,5	24	28	5.040,00
		BOBINADOR	1	0,37	KW	0,37	24	28	248,64
		motor placa apiladora	1	6,28332064	Hp	4,69	24	28	3.148,63
		MOTOR PREESTIRADO	1	44,02132521	Hp	32,83	24	28	22.059,51
		MOTOR MESA ELEVADORA	1	25,70449353	Hp	19,17	24	28	12.880,77
		MOTOR PLACA COLECTORA HORIZONTAL	1	91,96496573	Hp	68,58	24	28	46.084,54
		MOTOR ANCHO LAMINA ATRÁS	1	0,114242193	Hp	0,09	24	28	57,25
	M91-1	MOTOR MESA BASCULANTE	1	32,55902513	Hp	24,28	24	28	16.315,64
		MOTOR MESA ELEVADORA	1	15,99390708	Hp	11,93	24	28	8.014,70
		MOTOR ANCHO LAMINA ATRÁS	1	0,114242193	Hp	0,09	24	28	57,25

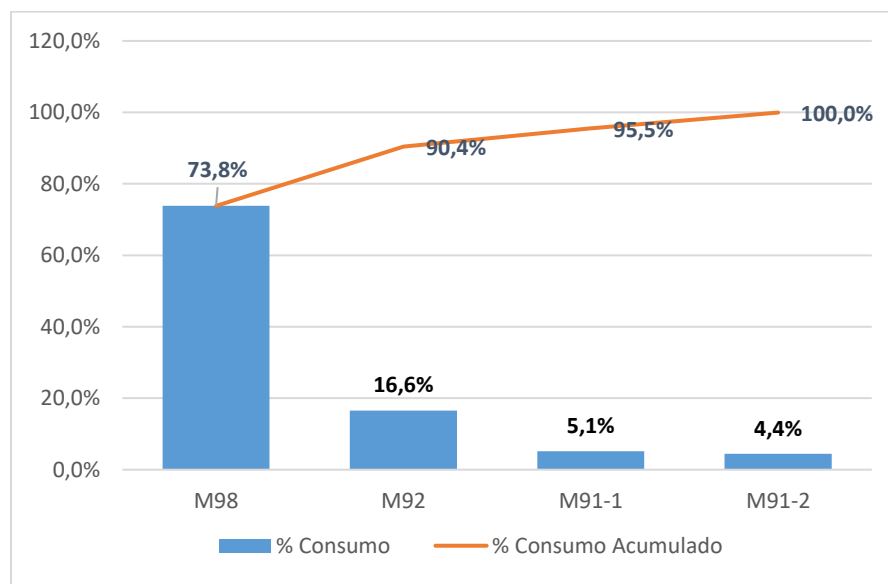
		MOTOR PLACA COLECTORA VERTICAL	1	0,55	KW	0,55	24	28	369,60
		MOTOR TRANSPORTE DE LAMINA	1	6,664127951	Hp	4,97	24	28	3.339,46
	M91-2	MOTOR MESA BASCULANTE	1	32,55902513	Hp	24,28	24	28	16.315,64
		MOTOR MESA ELEVADORA	1	15,99390708	Hp	11,93	24	28	8.014,70
		MOTOR ANCHO LAMINA ATRÁS	1	0,11	Hp	0,09	24	28	57,25
Molienda	Molienda	motor material a proceso	1	7,5	Hp	5,5927425	18	30	3.020,08
		motor material molido	1	4,6	KW	4,6	18	30	2.484,00
Empacado	Empacadora 2 y 3	motor	4	1,5	Hp	1,1185485	24	30	3.221,42
	Empacadora 4	motor	2	0,75	KW	0,75	24	30	1.080,00

Fuente: Elaboración propia datos RED RECIEE

3.1.4 Diagrama de Pareto

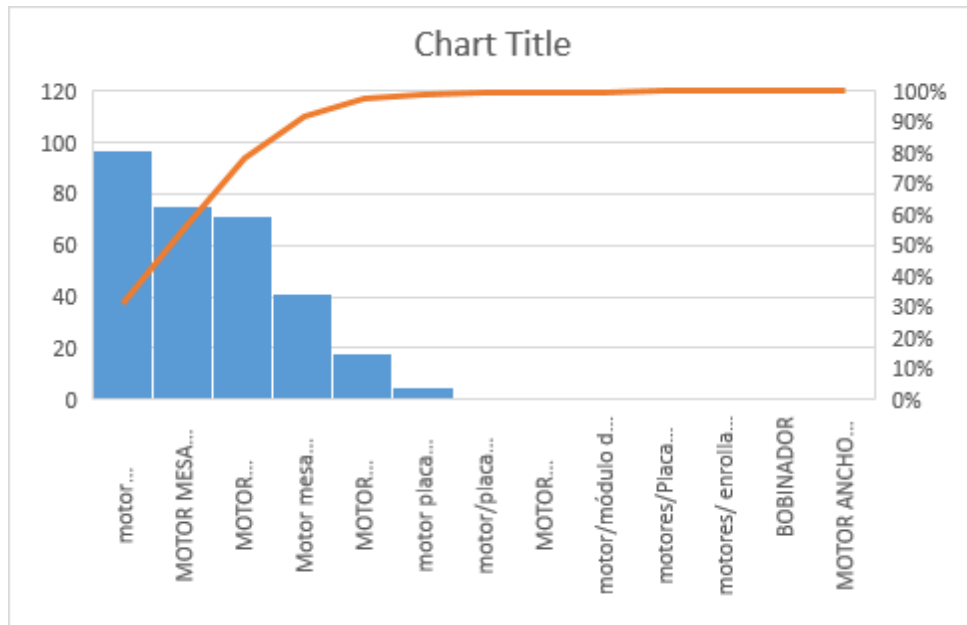
Como se describió anteriormente en la matriz energética realizada por áreas, el área de Inyección y extrusión son las áreas de mayor consumo de energética, por esta razón se hace una revisión detallada como se observa en los diagramas de paretos referidos en las Figura 17, Figura 18, Figura 19 y Figura 20, el censo de carga sirve como insumo para la elaboración de los diagramas de Pareto, que permiten determinar el 20% de los equipos y áreas que consumen aproximadamente el 80% de los distintos tipos de energía utilizada en el proceso, en los procesos representativos de la empresa de plásticos, se identifica que el mayor consumo de energía es representado por los motores.

Figura 17 Diagrama de Pareto para Inyección



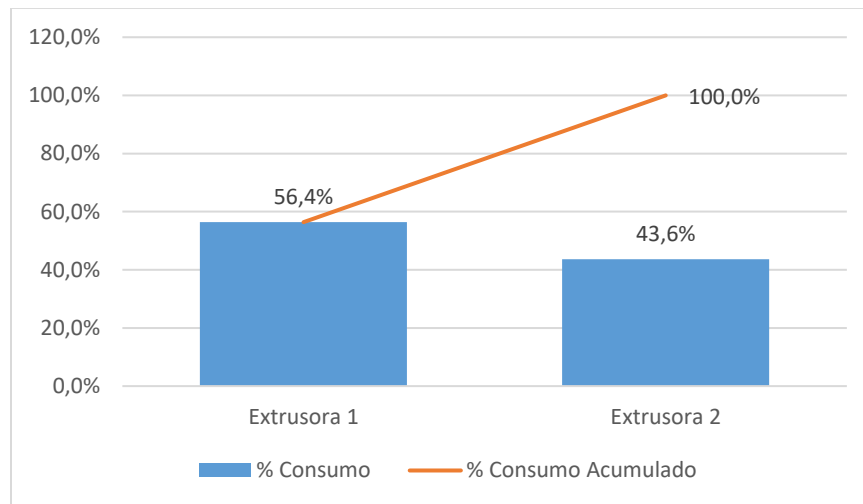
Fuente: Elaboración RED RECIEE

Figura 18 Diagrama de Pareto Inyectora M98



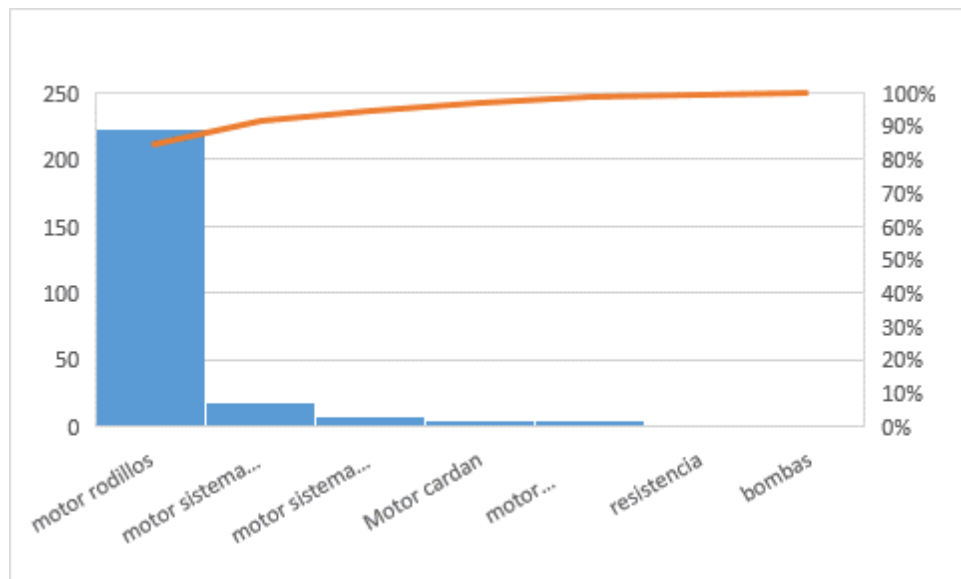
Fuente: Elaboración propia datos RED RECIEE

Figura 19 Diagrama de Pareto proceso de Extrusión



Fuente: Elaboración REDRECIEE

Figura 20 Diagrama de Pareto Extrusora 1

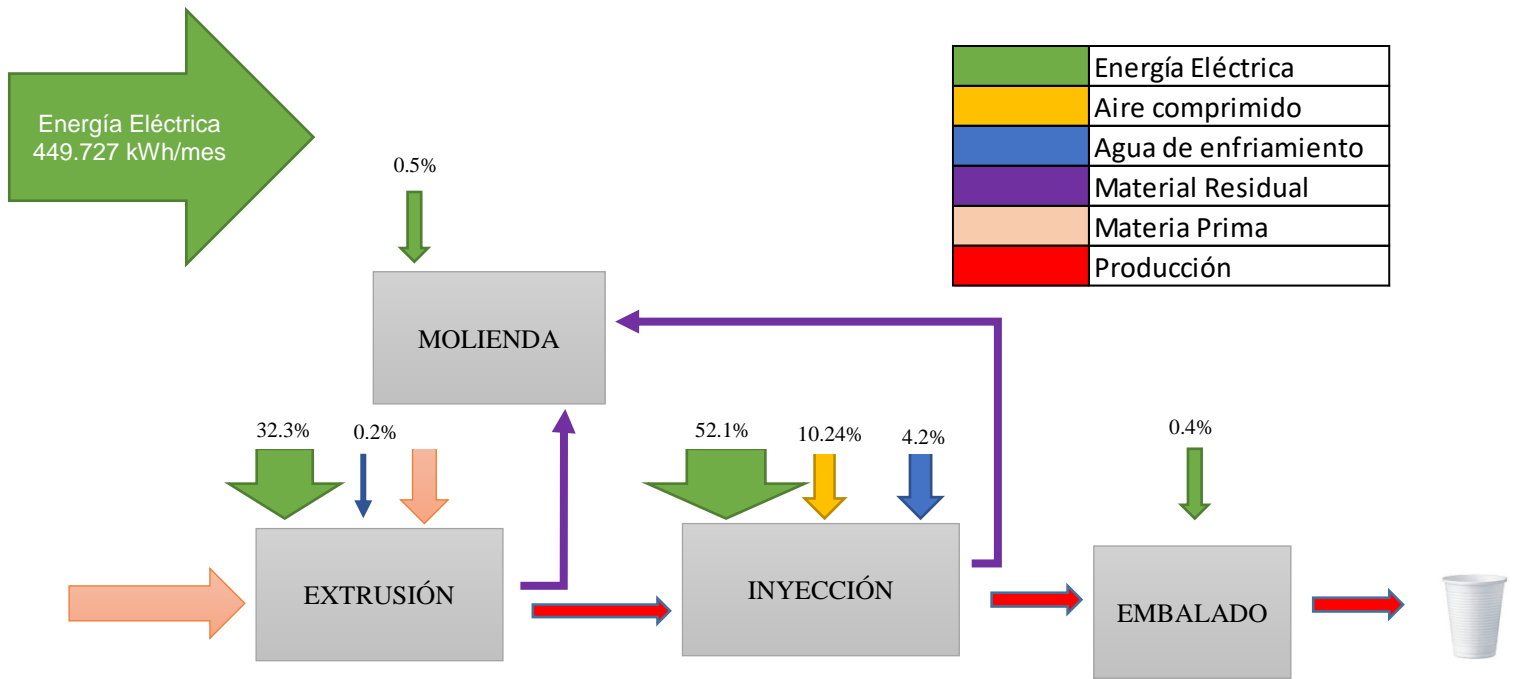


Fuente: Elaboración propia datos REDRECIEE

3.1.5 Diagrama energético productivo

Tomando como base el diagrama energético productivo, se identifican las fuentes y usos de la energía en las diferentes áreas y equipos, las etapas del proceso, productividad, tipos, cantidades aproximadas de energía y productos que entran y salen del proceso. Teniendo en cuenta la metodología propuesta, se requiere que el diagrama energético productivo describa la energía consumida en el área, proceso o equipo, según sea el caso evaluado, para ello se requerirá medición específica para determinar el consumo de energía del proceso en con las maquinas produciendo, la tasa de producción de las máquinas y la medición del producto de mala calidad. En el siguiente gráfico se describe la utilización de la energía eléctrica en el proceso productivo de la compañía, los procesos de inyección y extrusión cuentan con un alto porcentaje de consumo de energía, como se mostró en los paretos estos consumos son empleados principalmente por los motores.

Figura 21 Diagrama energético productivo



Fuente: Elaboración propia datos RED RECIEE

3.1.6 Línea base energética

Gracias a la herramienta de análisis de datos que maneja Excel se determina el P-Value, como se muestra en la Tabla 6

Tabla 6 P- Value datos

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,839665
R Square	0,705037
Adjusted R Square	0,701303
Standard Error	3305,998
Observations	81

ANOVA

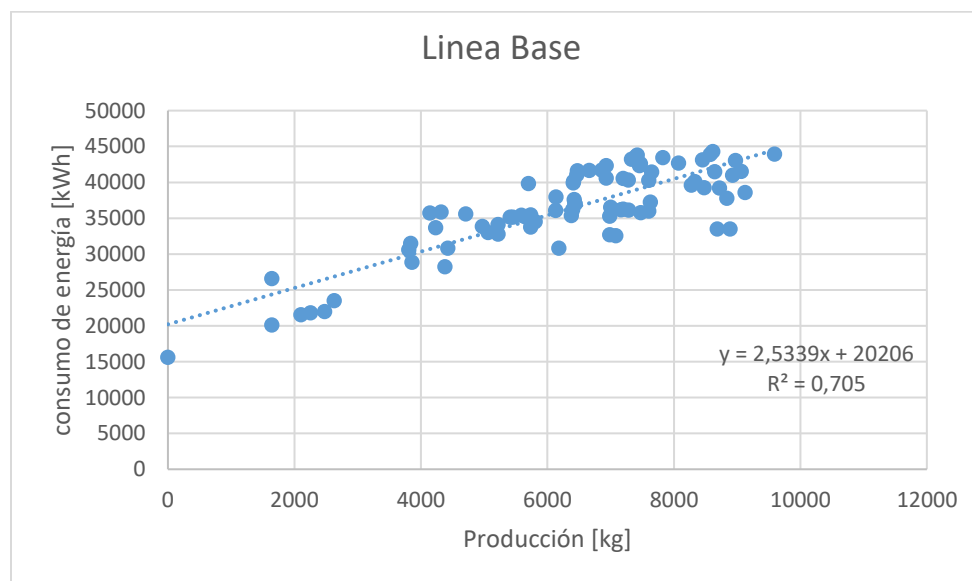
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	2,06E+09	2,06E+09	188,8303	1,21E-22
Residual	79	8,63E+08	10929623		
Total	80	2,93E+09			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	20205,59	1228,551	16,44667	3,14E-27	17760,22	22650,96	17760,22	22650,96
X Variable producción	2,533936	0,1844	13,74155	1,21E-22	2,166898	2,900974	2,166898	2,900974

Fuente: Elaboración propia

Dado que el valor de P- Value es menor que el 5% la hipótesis es falsa, eso quiere decir que el consumo de energía si tiene relación con la producción. Con la validación de los datos para el modelo se realiza la gráfica de correlación de datos históricos de consumo de energía vs los datos históricos de producción en el mismo periodo de tiempo.

Figura 22 Línea base de energía



Fuente: Elaboración propia datos RED RECIEE

$$\begin{aligned}
 y \text{ (consumo de energía)} &= m(\text{cambio tecnológico}) * x(\text{producción}) \\
 &+ b(\text{energía no asociada a la producción})
 \end{aligned}$$

R2 corresponde al 70% de las variaciones del consumo de energía que se deben a variaciones en la producción.

Cuando se encuentran puntos con igual nivel de producción, pero diferente consumo de energía se debe tener en cuenta las variables significativas del proceso, las cuales varían el consumo para un mismo nivel de producción, sobre estas se debe actuar para lograr ahorros de energía en el proceso o en la empresa sin hacer inicialmente cambio de tecnología.

Un ejemplo de estas variables significativas se puede encontrar en, la calidad de la materia prima, la temperatura ambiente, el régimen de producción, reprocesos, estado de mantenimiento de los equipos, parámetros operacionales, entre otros.

3.1.7 Consumo Específico de Energía

Continuando con los datos obtenidos de la línea base Figura 22, el valor de b en la ecuación corresponde a la energía no asociada a la producción, la cual hace referencia a la cantidad de energía que está directamente relacionada con el consumo fijo de la empresa.

Para el caso la energía no asociada a la producción corresponde a 20206 kWh/día, equivalente a un **56%** de la energía que se consumió mensualmente, pero que no se ve representada en el producto.

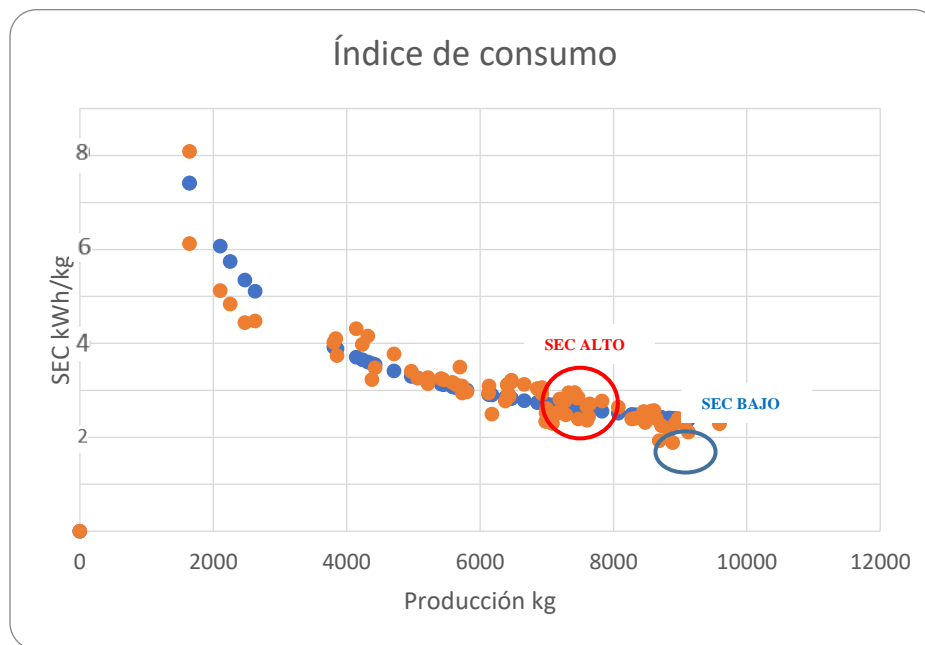
Otro indicador a tener en cuenta es el arrojado por la gráfica, este valor es el coeficiente de producción, o consumo específico de energía del proceso **2.5339 kWh**.

Este modelo sirve de referencia para evaluar el desempeño energético de la compañía y, será necesario entonces, trabajar para disminuir la energía no asociada a la producción, la cual está relacionada con medidas de gestión y control operacional, por ejemplo, con la disminución del consumo en la iluminación de la planta, los trabajos en vacío de equipos eléctricos, el precalentamiento de equipos, entre otros.

En la siguiente gráfica se determina el valor de la producción a la cual la variación de consumo específico es mínima para la empresa, para ello es necesario determinar el valor de P donde la razón de cambio de la pendiente de la Figura 23 se estabiliza comienza a mantenerse constante, de tal forma que se optimice el consumo de energía utilizado para transformar un kg de material.

La pendiente de la recta representa la razón de cambio del consumo de energía respecto a la producción, este valor es el índice de consumo mínimo promedio de energía en el periodo de registro. Esto tiene importancia para conocer el máximo nivel de “eficiencia” alcanzable por ese proceso o equipo en las condiciones operacionales y técnicas actuales (Prias et al., 2013).

Figura 23 SEC vs Producción



Fuente: Elaboración propia datos RED RECIEE

La producción nominal de la planta es de 9590 kg/mes, el promedio de producción mensual real fue de 6357 kg/mes, el índice de consumo promedio real fue de 2.53 kWh/kg, el índice de consumo alcanzable a mayor razón de producción puede llegar a ser 1.7 kWh/kg, de tal forma que se puede obtener una mejora en el SEC de 0.83 kWh/kg.

Para disminuir el indicador de consumo específico de energía del proceso SEC, es necesario optimizar los equipos, generando mayor producción de tal forma que el índice de consumo disminuya generando un cambio en la producción y en el consumo de energía utilizado para transformar un kg de material, esta propiedad depende de la eficiencia con la que cuente el equipo produciendo, y por lo tanto está relacionada por un lado, al cambio tecnológico y por otro a la optimización de variables operacionales que contribuyan a la aumento de la producción.

3.1.8 Identificación de oportunidades de mejora del desempeño energético por cambio tecnológico

La industria de plástico se caracteriza por realizar un uso intensivo de energía eléctrica en los procesos de transformación del plástico, el buen uso de energía determina, si una industria es energéticamente competitiva, o no.

Teniendo en cuenta que el indicador de consumo específico de energía del proceso refleja que por cada kg se consume **2,5339 kWh** y que la disminución de este coeficiente depende estrictamente de la eficiencia del equipo, se propone revisar la literatura con el fin de comparar y establecer si el indicador de la planta corresponde a los estándares de eficiencia energética en el sector, para ello se realiza el benchmarking del sector, comparando el indicador (SEC) Consumo Específico de Energía que relaciona la energía usada para el procesado de un kilogramo de plástico, cuyo indicador se refleja cómo (kWh/kg), con el fin de comparar el desempeño energético de los procesos productivos.

La eficiencia de un proceso está en obtener la mayor cantidad de producto, al mínimo consumo de energía. En el análisis del desempeño energético del proceso de moldeo por inyección, es fundamental no solo tener en cuenta la energía consumida, sino además la cantidad de producto obtenido.

Para elaborar la comparación nacional, se realiza una estimación gracias a los datos de la Encuesta Anual Manufacturera - EAM, donde se describe la relación entre el consumo energético (kWh) y la producción, como lo muestra la Tabla 7 se encuentran valores promedio entre 1.5 y 2.5 kWh/kg para el sector plástico.

Tabla 7 Consumo específico de energía empresas plástico

DESCRIPCIÓN	ESCALA DE PRODUCCIÓN	PRODUCCIÓN BRUTA [Kg]	ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA (kWh)	CONSUMO ESPECIFICO [kWh/kg]
Fabricación de productos de plástico	0	58.603.404	146.599.620	2,502
Fabricación de productos de plástico	1	188.710.618	407.070.970	2,157
Fabricación de productos de plástico	2	192.653.029	370.957.260	1,926
Fabricación de productos de plástico	3	245.742.064	486.815.250	1,981
Fabricación de productos de plástico	4	133.176.762	264.483.940	1,986

Fabricación de productos de plástico	5	486.091.555	732.284.560	1,506
Fabricación de productos de plástico	6	588.538.743	1.249.819.080	2,124
Fabricación de productos de plástico	7	778.312.977	1.512.024.120	1,943
Fabricación de productos de plástico	8	1.021.436.774	2.061.448.490	2,018
Fabricación de productos de plástico	9	2.501.952.803	5.074.336.190	2,028
Fabricación de productos de plástico	TOTAL	6.195.218.729	12.507.518.480	2,019

Fuente: Datos obtenidos de la Encuesta Anual Manufacturera - DANE

Por otro lado, se realiza una comparación internacional, el promedio general del consumo específico es de 2.45 kWh/kg; El promedio de Alemania es similar, sin embargo, el Reino Unido tiene un índice mayor, por su lado España refleja un consumo específico inferior a 1.94 kWh/kg. Uno de los factores de esta diferencia, se refleja en la edad de la industria, y por lo tanto la maquinaria; siendo España uno de los países más jóvenes en la fabricación de productos plásticos.

Tabla 8 Comparación internacional consumo específico

Referencia	Consumo específico de Energía	Observaciones
[1] Manual de Eficiencia energética para Pymes. Fabricación de productos de plástico CNAE 22.2 Gas Fenosa	2.37 kWh/kg	Según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2006), en el sector del plástico, el tipo de energía más demandado es la eléctrica, alcanzando un 77% sobre todos los consumos energéticos de la industria.
[3] Plastics Industry A Contribution towards Irelands	Irlanda: 2,25 kWh / kg Guía de Buenas prácticas del Reino Unido 1,2 kWh / kg a 2,2 kWh / kg	Para este estudio, fueron encuestadas diez empresas, representan alrededor del 20% del mercado de moldeo por inyección en Irlanda en cuanto a número de

		máquinas y en la producción del producto.
[4] 2005 European benchmarking survey of energy consumption and adoption of best practice	España 1,93 kWh / kg	El promedio general del Consumo Específico fue de 2,38 kWh/kg. El Reino Unido fue mayor a 2,79 kWh/kg y España inferior a 1,93 kWh/kg. Uno de los factores de esta diferencia puede ser debida a la edad de la industria, y por lo tanto la maquinaria. La industria de los plásticos del Reino Unido es el más antiguo de los tres países, y España, el más joven, con la edad de la maquinaria que refleja esto.
	Alemania 2,42 kWh / kg	
	Reino Unido 2,79 kWh / kg	
Empresa objeto de estudio	2.53 kWh/kg	Por la razón antes mencionada se recomienda realizar el cambio de tecnología, para la mejora del desempeño energético.

Fuente: Bibliografía [(Fenosa, 2015)], [(CÁRDENAS, 2017)]

Teniendo como referencia los valores suministrados por la Encuesta Anual Manufacturera y los valores internacionales referenciados en la Tabla 8, el indicador de consumo específico de la planta objeto de estudio, supone un proceso de baja competitividad visto desde el ámbito energético.

4. EVALUACIÓN TECNOLÓGICA DE LA ALTERNATIVA DE CAMBIO TECNOLÓGICO

En el siguiente capítulo se determina el consumo específico de la energía SEC teniendo en cuenta, no solo el equipo de baja eficiencia, como lo muestra el benchmarking realizado, sino también el consumo específico de energía de los procesos y en la calidad del producto, para ello se realiza una revisión del indicador teniendo en cuenta que la compañía posee dos procesos principales, de los cuales se cuenta con tecnología medular como son las inyectoras y las extrusoras y el principal consumidor de energía dentro de la tecnología medular, el motor.

4.1 Consumo específico de energía del proceso

En el artículo Energy performance evaluation and improvement of unit-manufacturing processes (Jatinder Madan a, b, Mahesh Mani a, C, Jae Hyun Lee a & A, 2014) se señala que 2/3 del consumo de energía del proceso de transformación de plásticos se atribuye a los motores, reduciendo considerablemente su eficiencia a medida que el motor se queda sin velocidad a carga nominal, Según Kruder y Nunn [8] la eficiencia energética en el proceso de extrusión e inyección también depende de factores como el diseño de tornillo, engranaje, materia prima del polímero y la velocidad de extrusión o inyección.

Por otro lado, (Rosato, Dominick V., Rosato, Donald V., Rosato, 2000) confirma que la eficiencia energética en los procesos de transformación de polímeros es afectada por el torque que ejerce el tornillo, la velocidad de rotación; se refiere al sistema de accionamiento el cual es responsable del 3 al 20 % de las pérdidas. Entonces, la minimización del consumo de energía se puede controlar con el cambio de la tecnología puede ser la medular o la específica en este caso el motor que representa casi un 80% del consumo de la máquina,

y adicional mejorar el desempeño energético con la correcta selección de variables operaciones optimas que mejoren el proceso.

Es posible variar el consumo específico de energía del proceso, mediante las contribuciones de la eficiencia energética del motor y de los subprocesos que se llevan a cabo en los procesos de inyección y extrusión.

En el trabajo desarrollado por (Cantor, 2010) se comprueba mediante experimentos llevados a cabo en los procesos de inyección y extrusión, que, con la variación de la velocidad de rotación del tornillo, se logra una disminución del consumo específico de energía del proceso a medida que la velocidad se incrementa, aun así se debe tener precaución en el aumento desmesurado de la velocidad ya que un aumento en la velocidad reduciría el tiempo del material en el proceso disminuyendo su calidad térmica.

Teniendo en cuenta el estudio realizado, se identifican las brechas en los consumos específicos de energía en la producción SEC_n para la empresa objeto de estudio, el cual se obtiene de la relación histórica entre el consumo de energía y la producción Figura 22.

$$SEC_n = 2,5339 \text{ kWh/kg}$$

Para obtener el valor para SEC_n , se utilizan los siguientes datos suministrados por la empresa para calcular el consumo y producción en condiciones estables del proceso.

Tabla 9 Datos de entrada maquinaria instalada

Condiciones	Maquinaria	Unidad
Chatarra inherente	666,19	7%
Desechado por calidad	647,16	6,8%
Caudal másico de proceso	9516,99	Kg
Caudal másico específico	14,35	kg /h rpm
Velocidad del tornillo de rotación	46,2	Rpm
Consumo promedio	24115	kW

Fuente: Elaboración propia datos RED RECIEE

Teniendo en cuenta el caudal másico específico del proceso, el consumo promedio y el porcentaje de chatarra inherente al proceso, se calcula el valor del consumo específico de la energía para el proceso.

$$SEC_s = \left(\frac{24115 \text{ kW}}{14,35 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ rpm} - 666,19 \text{ kg}} \right) = 2,5263 \text{ kW/kg}$$

Para determinar el valor SECg se determina el porcentaje de los productos rechazados por mala calidad y se calcula teniendo en cuenta el consumo específico del proceso, calculado anteriormente, con el fin de calcular solo el consumo de una pieza que cuenta con un procesamiento adecuado, por lo general el consumo específico por calidad disminuye cuando se realiza cambio de tecnología dado que la tecnología por lo general reduce la cantidad de procesamiento inadecuados como lo menciona (Cantor, 2010).

$$SEC_g = \left(\frac{2,5263 \text{ kW/kg}}{1 - (7\% - 7,2\%)} \right) = 2,5313 \text{ kW/kg}$$

El establecimiento de los consumos específicos debido a la producción, la calidad y el consumo específico de energía de la compañía se determinan por datos obtenidos de la caracterización energética y datos históricos de registro.

4.2 Consumo específico de energía por cambio de tecnología

Para determinar el valor de consumo específico de energía por tecnología es necesario realizar una comparación de los equipos actuales con los posibles equipos a adquirir.

Los datos de comparación con una nueva tecnología se muestran en la Tabla 10, donde se identifica un consumo menor de energía para la producción, de igual forma se estima por parte del fabricante (Hidraulicas, 2009) una disminución del 5% en la reducción del porcentaje en los desechos por calidad y un 7% en reducción del porcentaje de desechos inherentes, de igual forma se registra un aumento en la velocidad del tornillo de rotación de 46.2 rpm a 50 rpm, con este aumento se modifica el caudal másico a 15.58 kg/h, aumentando el nivel de producción en un 7,5% , obteniendo un valor de SECm:

$$SEC_m = \frac{\text{consumo de energía en condiciones de proceso optimizadas}}{\text{producción conforme a condiciones de proceso optimizadas}}$$

Tabla 10 Variables equipo de reemplazo

Condiciones	Maquinaria	Unidad	Reducción
Chatarra inherente	680,35	6,65%	-5%
Desechado por calidad	684,44	6,69%	-7%
Caudal másico de extrusión	10230,76425	kg	+7.5%
Caudal másico específico	15,58	kg /h rpm	1.17 kg/h/rpm
Velocidad del tornillo de rotación	50	Rpm	+3.8 rpm
Consumo promedio	20115	kW	-4.000 kW

Fuente: (Hidraulicas, 2009)

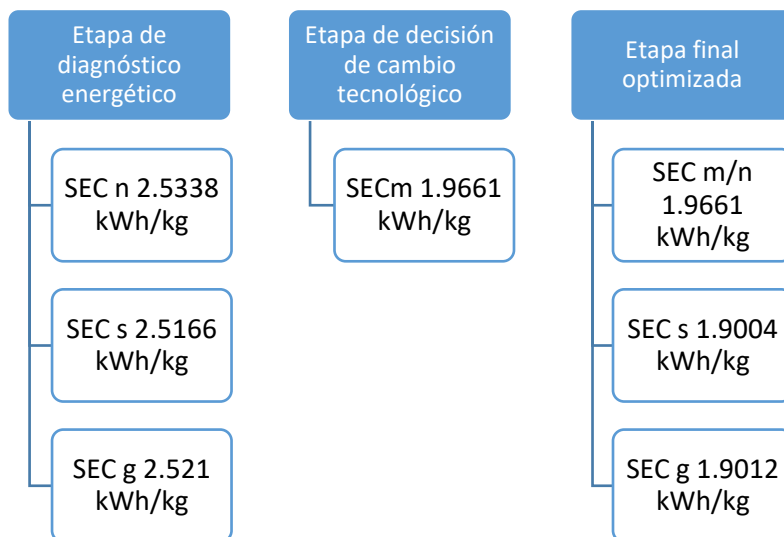
$$SEC_m = \frac{20115 \text{ kW}}{10230.76 \text{ kg}} = 1.966 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

A partir de este valor se recalculan los SEC utilizando las condiciones de funcionamiento optimizadas.

$$SEC_s = 1.9004 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

$$SEC_g = 1.9012 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

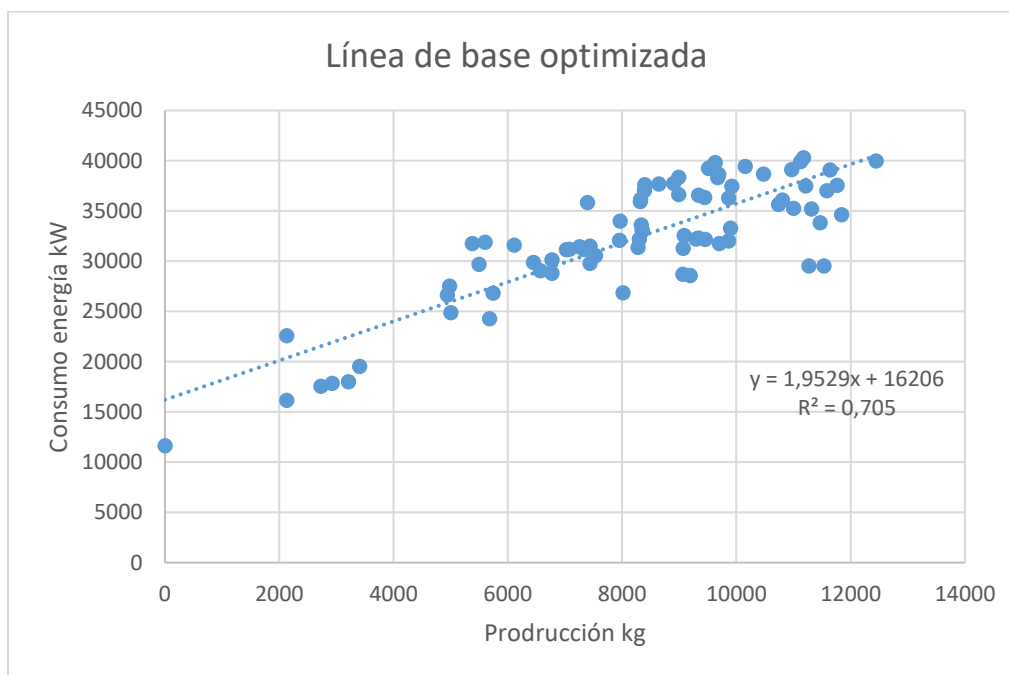
Figura 24 SEC empresa plástico



Fuente: Elaboración propia datos REDRECIEE

Al ajustar los valores teniendo en cuenta la reducción de energía y el aumento del 7.5% en la producción se determina que la nueva línea base optimizada presenta un indicador de consumo específico de energía SEC, de **1.9529 kWh/kg**.

Figura 25 línea base optimizada



Fuente: Elaboración propia datos REDRECIEE

Se comprueba una disminución del consumo específico de energía del proceso debido a la decisión de cambio tecnológico, el cual no solo contribuye a la disminución del consumo de energía, si no a la disminución de los desperdicios de materia y rechazos de calidad, se comprueba que la modificación de variables como la velocidad del tornillo contribuyen al aumento de la producción sin aumentar el consumo de energía requerido.

De igual forma se comprueba el análisis realizado para determinar el índice de consumo, ya que se predecía una reducción de hasta un 0.83 en el consumo específico de la energía como lo representa la Figura 23, llegando a un indicador de 1,7 kWh/kg procesado, para el caso fue posible identificar la disminución del indicador con las variaciones dadas por el fabricante de la máquina medular y de la disminución del consumo energético del mayor consumidor del proceso.

5.EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS FINANCIERAS PARA INCENTIVAR LAS INVERSIONES EN CAMBIOS TECNOLÓGICOS

Para el estudio de factibilidad de un proyecto es necesario evaluar la viabilidad comercial, técnica y financiera; en cuanto a la viabilidad comercial el estudio se centra en la comparación con el mercado, este aspecto fue tenido en cuenta al momento de comparar el consumo específico de energía de la empresa con sus pares nacionales e internacionales, validando entonces la necesidad de realizar un cambio que hiciera viable el producto comercialmente y aumentara los indicadores de productividad y competitividad de la compañía; por otro lado la viabilidad técnica analiza las propiedades físicas del proceso y las condiciones y alternativas para optimizar la producción, este desarrollo se plantea en el capítulo 3, donde se mejora la capacidad de producción y se disminuye el consumo de energía y las pérdidas de material por desperdicios, mejorando el indicador de consumo específico de energía del proceso. (SAPAG, 2007)

Finalmente, el estudio de viabilidad financiera determina si se realiza o no el proyecto, ya que mide la rentabilidad de la inversión, en el caso concreto se realizara un análisis financiero sobre el cambio del equipo específico identificado como mayor consumidor de energía, dado que las principales fuentes de financiación tienen en cuenta dentro de su portafolio la financiación de equipos de uso final de energía como es el caso del motor, pero no se tiene en cuenta la aplicación de los apalancamientos de proyectos de tecnología medular para el sector, como es el caso de las inyectoras y las extrusoras, que como se vio en el capítulo 3, la modificación de variables operativas puede modificar significativamente el desempeño energético del proceso.

Para iniciar es necesario contar con el presupuesto o flujo de caja de proyecto, teniendo en cuenta las condiciones reales del mercado en tanto a costos, variables económicas, tasas de interés, entre otras.

La estructura básica de un proyecto por lo general se conforma de los siguientes componentes:

Tabla 11 Estructura proyecto

+Ingresos
+Otros ingresos
-Costos de AOM
-Depreciación
=Utilidad antes de impuestos.
-impuestos de renta
+ingresos por salvamento de activos
-impuestos por utilidad en venta de activos
=Utilidad Neta.
+Depreciación
+Valor de salvamento de activos no vendidos
-Costos de inversión
= Flujo de caja del proyecto.

Fuente: (Mokate, 2010)

Una vez se tenga el flujo de caja del proyecto, se evalúa mediante indicadores financieros la viabilidad del mismo, para ello se cuenta con las siguientes herramientas:(Mokate, 2010)

- Valor Presente Neto (VPN): Es el valor presente de los saldos del proyecto de cada periodo; si el VPN >0 el proyecto es aceptable. (Mokate, 2010)
- Tasa Interna de Retorno (TIR): Es la tasa de interés que iguala en el tiempo los ingresos y egresos de un flujo de caja y es la rentabilidad que ganan los fondos

que permanecen en el proyecto.; un proyecto es rentable cuando la TIR es mayor al costo del capital mínimo requerido por los accionistas. (Mokate, 2010)

- Análisis de sensibilidad: permitirá evaluar la sensibilidad de la evaluación realizada frente a variaciones de algunos de los parámetros de decisión. (Mokate, 2010)

Para el caso, se tendrán en cuenta las siguientes recomendaciones:

- el ahorro de energía se verá reflejado para el cambio de tecnología de 5 motores instalados en las máquinas de los principales procesos.
- Estimación de ahorros por el cambio tecnológico a realizar, medidos en la disminución de mantenimientos correctivos y paradas de la máquina.
- Se incluirán los ingresos generados en la producción o la disminución de costos por mejora en reprocesos y disminución de materia prima.

Mediante la herramienta elaborada en Excel, se realizan los cálculos para evaluar la inversión, se proyectan los flujos del proyecto teniendo en cuenta la energía desplazada, incentivos tributarios, préstamos bancarios, los costos de materia prima, disminución en paradas, costos de mantenimiento, entre otros.

Los datos de entrada para el ejercicio financieros se muestran en la Tabla 12

Tabla 12 Datos de entrada proyecto cambio de motores

DATOS DE ENTRADA		
Costo de la energía	540	\$/kWh
WACC	8%	%
Inflación anual	3,83%	%
Tasa de descuento anual pesos constantes	4,02%	%
Materia prima	2.321.904	kg
Costo de la materia prima	210	\$
Impuesto a la Renta	33%	%
Impuesto sobre las ventas	19%	%
Depreciación	Forma lineal	-
Venta del activo fijo (Equipo antiguo]	17.700.000	\$
Venta del activo fijo (Equipo nuevo]	23.450.000	\$
Horizonte del proyecto	5	años

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Datos de entrada equipo actual

EQUIPO ACTUAL	
No. De equipos	5
Potencia consumida equipo actual kW	30,5
Horas de operación diaria	8
Días laborales 2018	244
Energía anual consumida equipo actual kWh	297.680
Valor de salvamento	\$ 3.540.000
Costo anual de energía equipo actual (miles de pesos)	\$ 160.747.200
Mantenimiento equipo actual	\$ 53.375.000
Costos de material utilizado en el proceso	\$ 487.599.840

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 Datos de entrada equipo nuevo

EQUIPO NUEVO POR INSTALAR	
No. De equipos	5
Potencia consumida equipo nuevo kW	28
Horas de operación diaria	8
Días laborales 2018	244
Energía anual consumida equipo nuevo kWh	273.280
Costo anual de energía equipo nuevo (miles de pesos)	\$ 147.571.200
Mantenimiento equipo nuevo	\$48.350.000
% de reducción de desperdicio de material	12%
Costos de material utilizado en el proceso	\$429.087.859

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo indicado por el manual de estudios de Pre-Inversión en Eficiencia Energética (CORFO, 2011) para este tipo de proyectos se debe considerar TIR del 5%, pero teniendo en cuenta la reducción de los costos, no solo en el consumo de energía, sino también en la reducción de desperdicios y la reducción de costos en mantenimiento del equipo se estima un TASA DE DESCUENTO del 4.02% anual, dado que el proyecto podría ser financiado en su totalidad por la empresa.

La inversión se realizó para la compra de 5 motores, teniendo en cuenta los costos asociados a la instalación, adecuación, estudios y capital de trabajo, se estima una inversión aproximada de \$217.982.003, con un horizonte del proyecto a 5 años.

Tabla 15 Costo de inversión

INVERSIÓN		
#. Motores	5	VALOR TOTAL
Compra Motor	\$ 28.012.650	140.063.250
Variado de Velocidad	\$ 2.396.090	11.980.450
Adecuaciones	\$ 4.500.000	4.500.000
Instalación	\$ 2.850.000	14.250.000
Iva de equipos nuevos	\$ 5.777.661	28.888.303
Estudios	\$ 12.000.000	12.000.000
Capital de trabajo	\$ 6.300.000	6.300.000
	TOTAL, INVERSIÓN	217.982.003
Deducción especial de renta		\$ 108.991.002

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los datos de entrada relacionados en las tablas anteriores, se realiza el análisis para determinar el tipo de financiamiento que más le conviene a la empresa para desarrollar el proyecto.

Para iniciar, se debe tener en cuenta las mejoras identificadas en la etapa de evaluación tecnológica, se determina no solo la reducción de consumo de energía por el cambio de tecnología por una más eficiente, sino también se tiene en cuenta la reducción de mantenimientos, tiempo en vacío de la máquina, optimización de los procesos reflejados en una mayor tasa de producción y una reducción en los porcentajes de rechazos por mala calidad, generando ahorros para la empresa, los cuales pueden ser monetizados para aumentar el flujo de caja de la compañía.

Tabla 16 Flujo de caja de la empresa

Flujo de caja proyecto EMPRESA		1	2	3	4	5
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS						
Costo anual de la energía		\$ 13.176.000	\$ 13.176.000	\$ 13.176.000	\$ 13.176.000	\$ 13.176.000
Mantenimiento de equipos		\$ 5.025.000	\$ 5.025.000	\$ 5.025.000	\$ 5.025.000	\$ 5.025.000
Costo de material utilizado en el proceso		\$ 58.511.981	\$ 58.511.981	\$ 58.511.981	\$ 58.511.981	\$ 58.511.981
Otros Ahorros						
TOTAL INGRESOS		\$ 76.712.981	\$ 76.712.981	\$ 76.712.981	\$ 76.712.981	\$ 76.712.981
EGRESOS						
Otros Egresos						
Depreciación nuevos equipos		-\$ 30.408.740	-\$ 30.408.740	-\$ 30.408.740	-\$ 30.408.740	-\$ 30.408.740
Amortización estudios		-\$ 2.400.000	-\$ 2.400.000	-\$ 2.400.000	-\$ 2.400.000	-\$ 2.400.000
FLUJO DE CAJA ANTES DE IMPUESTOS		\$ 43.904.241	\$ 43.904.241	\$ 43.904.241	\$ 43.904.241	\$ 43.904.241
Impuesto de renta		\$ 14.488.399	\$ 14.488.399	\$ 14.488.399	\$ 14.488.399	\$ 14.488.399
FLUJO NETO DE CAJA		\$ 29.415.841	\$ 29.415.841	\$ 29.415.841	\$ 29.415.841	\$ 29.415.841
Depreciación nuevos equipos		\$ 30.408.740	\$ 30.408.740	\$ 30.408.740	\$ 30.408.740	\$ 30.408.740
Amortización estudios		\$ 2.400.000	\$ 2.400.000	\$ 2.400.000	\$ 2.400.000	\$ 2.400.000
INVERSIÓN						
Compra Motor (5)	\$ 140.063.250					
Variado de Velocidad (5)	\$ 11.980.450					
Adecuaciones	\$ 4.500.000					

Instalación	\$ 14.250.000						
Iva de equipos nuevos	\$ 28.888.303						
Estudios	\$ 12.000.000						
Capital de trabajo	\$ 6.300.000						\$ 6.300.000
	\$ 217.982.003						
Valor de salvamento de equipos actuales		\$ 17.700.000					
Valor de salvamento de equipos nuevos							\$ 23.450.000
FLUJO LIBRE DEL PROYECTO	-\$ 217.982.003	\$ 79.924.581	\$ 62.224.581	\$ 62.224.581	\$ 62.224.581	\$ 62.224.581	\$ 91.974.581
Valor Presente flujo del proyecto	-\$ 217.982.003	\$ 76.838.604	\$ 57.512.226	\$ 55.291.615	\$ 53.156.745	\$ 51.113.811	\$ 49.071.883
Flujo de caja acumulado en valor presente		-\$ 141.143.399	-\$ 83.631.172	-\$ 28.339.557	\$ 24.817.188	\$ 24.817.188	\$ 100.354.811
INDICADORES FINANCIEROS						4	5
VPN	\$ 100.354.811						
TIR	18,92%						
TIRNOMINAL	23,48%						
COSTO BENEFICIO	1,46						
Periodo de recuperación	4,00						

Fuente: Elaboración propia

El ejercicio también se desarrolló teniendo en cuenta el apalancamiento por parte de la financiación bancaria teniendo como datos de entrada los referenciados en la Tabla 17

Tabla 17 Financiamiento bancario

FINANCIAMIENTO		
Banco		
Plazo Pago constante	3	años
Tasa de interés efectiva anual	12,70%	
Porcentaje por financiar	70%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Flujo de caja con financiamiento comercial

Flujo de caja proyecto FINANCIADO						
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
FLUJO LIBRE DEL PROYECTO	-\$ 217.982.003	\$ 79.924.581	\$ 62.224.581	\$ 62.224.581	\$ 62.224.581	\$ 91.974.581
Valor Presente flujo del proyecto	-\$ 217.982.003	\$ 76.838.604	\$ 57.512.226	\$ 55.291.615	\$ 53.156.745	\$ 75.537.623
Flujo de caja acumulado en valor presente		-\$ 141.143.399	\$ 134.350.831	\$ 112.803.842	\$ 108.448.360	\$ 128.694.367
Tabla de amortización del crédito						
Préstamo	\$ 152.587.402					
Intereses de financiación		\$ 19.378.600,07	\$ 13.674.194,94	\$ 7.245.330,37		
Ahorros fiscales sobre la renta		\$ 10.907.422	\$ 6.903.443	\$ 2.390.959		

Amortización de la deuda		\$ 44.916.575,76	\$ 50.620.980,88	\$ 57.049.845,46		
FLUJO DEL INVERSIONISTA	-\$ 65.394.600,90	\$ 26.536.827,86	\$ 4.832.848,86	\$ 320.364,53	\$ 62.224.581,34	\$ 91.974.581,34
Valor Presente flujo del proyecto	-\$ 65.394.600,90	\$ 25.512.211	\$ 4.466.850	\$ 284.670	\$ 53.156.745	\$ 75.537.623
Flujo de caja acumulado en valor presente		-\$ 39.882.389	-\$ 35.415.539	-\$ 35.130.869	\$ 18.025.876	\$ 93.563.498
INDICADORES FINANCIEROS					4	5
VPN	\$ 93.563.498,36					
TIR	27,52%					
TIRNOMINAL	32,40%					
COSTO BENEFICIO	2,43					
Periodo de recuperación	4,00					

Fuente: Elaboración propia

Adicional se realizará una evaluación teniendo en cuenta los beneficios tributarios, que para el caso de estudio hace referencia a la exclusión del IVA, otorgado para elementos y maquinaria, nacional o importada que se encuentre en el listado de la resolución 045 de 2016 de la UPME, y deducción del 50%, de renta sobre la renta líquida; los beneficios se estudian con mayor detalle en el anexo 1, por otro lado se revisara la contribución en los indicadores financieros el posible apalancamiento del proyecto por parte de los préstamos bancarios ofrecidos actualmente para este tipo de proyectos.

Tabla 19 Incentivos tributarios Ley 1715

INCENTIVOS TRIBUTARIOS	
Exclusión de IVA adquisición de bienes Ley 1715	
50% Renta Liquida	50%
TOTAL INVERSIÓN	\$ 217.982.003
Deducción especial de renta 50%	\$ 108.991.002

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20 Flujo de caja con incentivos tributarios Ley 1715

Flujo de caja proyecto INCENTIVOS TRIBUTARIOS		1	2	3	4	5
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS						
Costo anual de la energía		\$ 13.176.000	\$ 13.176.000	\$ 13.176.000	\$ 13.176.000	\$ 13.176.000
Mantenimiento de equipos		\$ 5.025.000	\$ 5.025.000	\$ 5.025.000	\$ 5.025.000	\$ 5.025.000
Costo de material utilizado en el proceso		\$ 58.511.981	\$ 58.511.981	\$ 58.511.981	\$ 58.511.981	\$ 58.511.981
Otros Ahorros						
TOTAL INGRESOS		\$ 76.712.981	\$ 76.712.981	\$ 76.712.981	\$ 76.712.981	\$ 76.712.981
EGRESOS						
Otros Egresos						
Depreciación nuevos equipos		-\$ 30.408.740	-\$ 30.408.740	-\$ 30.408.740	-\$ 30.408.740	-\$ 30.408.740
Amortización estudios		-\$ 2.400.000	-\$ 2.400.000	-\$ 2.400.000	-\$ 2.400.000	-\$ 2.400.000
FLUJO DE CAJA ANTES DE IMPUESTOS		\$ 43.904.241	\$ 43.904.241	\$ 43.904.241	\$ 43.904.241	\$ 43.904.241
50% de la renta líquida		\$ 21.952.120	\$ 21.952.120	\$ 21.952.120	\$ 21.952.120	\$ 21.952.120
Deducciones especiales		-\$ 21.798.200	-\$ 21.798.200	-\$ 21.798.200	-\$ 21.798.200	-\$ 21.798.200
Renta gravable		\$ 22.106.041	\$ 22.106.041	\$ 22.106.041	\$ 22.106.041	\$ 22.106.041
Impuesto de renta		\$ 7.294.993	\$ 7.294.993	\$ 7.294.993	\$ 7.294.993	\$ 7.294.993
FLUJO NETO DE CAJA		\$ 36.609.247	\$ 36.609.247	\$ 36.609.247	\$ 36.609.247	\$ 36.609.247
Depreciación nuevos equipos		\$ 30.408.740	\$ 30.408.740	\$ 30.408.740	\$ 30.408.740	\$ 30.408.740
Amortización estudios		\$ 2.400.000	\$ 2.400.000	\$ 2.400.000	\$ 2.400.000	\$ 2.400.000
INVERSIÓN						

Compra Motor (5)	\$ 140.063.250					
Variado de Velocidad (5)	\$ 11.980.450					
Adecuaciones	\$ 4.500.000					
Instalación	\$ 14.250.000					
Exclusión de IVA	\$ -					
Estudios	\$ 12.000.000					
Capital de trabajo	\$ 6.300.000					\$ 6.300.000
	\$ 189.093.700					
Valor de salvamento de equipos actuales		\$ 17.700.000				
Valor de salvamento de equipos nuevos						\$ 23.450.000
FLUJO LIBRE DEL PROYECTO	-\$ 189.093.700	\$ 87.117.987	\$ 69.417.987	\$ 69.417.987	\$ 69.417.987	\$ 92.867.987
Valor Presente flujo del proyecto	-\$ 189.093.700	\$ 83.754.265	\$ 64.160.866	\$ 61.683.543	\$ 59.301.873	\$ 76.271.366
Flujo de caja acumulado en valor presente		-\$ 105.339.435	-\$ 41.178.569	\$ 20.504.974	\$ 79.806.848	\$ 156.078.214
INDICADORES FINANCIEROS				3	4	5
VPN	\$ 100.354.811					
TIR	24,96%					
TIRNOMINAL	29,74%					
COSTO BENEFICIO	1,83					
Periodo de recuperación	3,00					

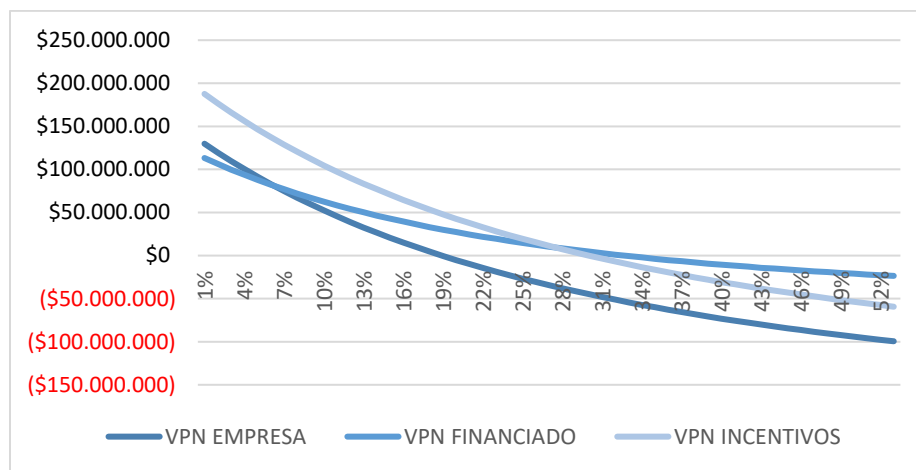
Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Indicadores Financieros

	EMPRESA	FINACIADO	INCENTIVOS
VPN	\$ 100.354.811	\$ 93.563.498,36	\$ 100.354.811
TIR	18,92%	27,52%	24,96%
TIRNOMINAL	23,48%	32,40%	29,74%
COSTO BENEFICIO	1,46	2,43	1,83
Periodo de recuperación	4 años	4 años	3 años

Fuente: Elaboración propia

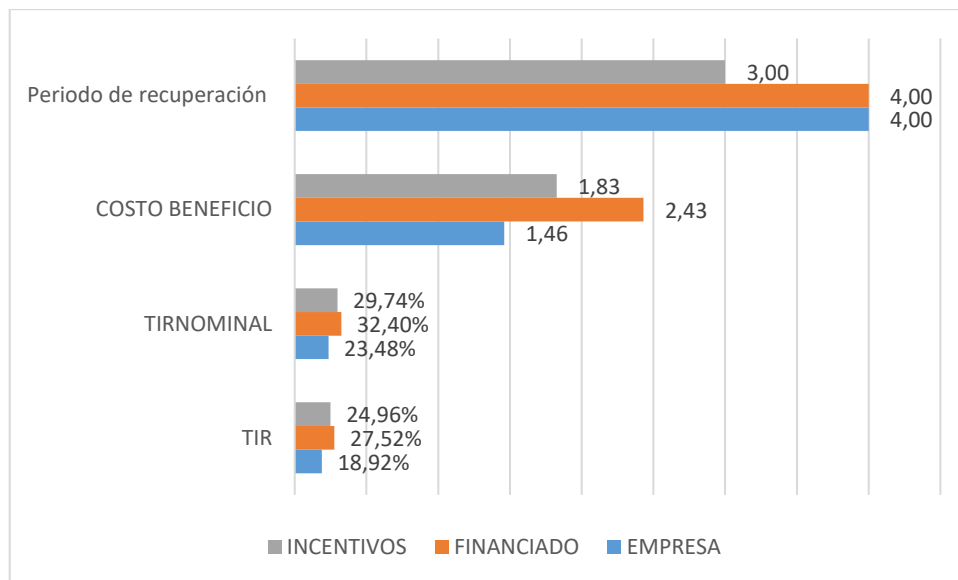
Figura 26 Valor Presente Neto



Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que las alternativas planteadas no son excluyentes, se plantea tener en cuenta que todos los proyectos arrojan un valor positivo para el VPN, de tal forma que es conveniente pensar en invertir teniendo en cuenta las tres alternativas.

Figura 27 Indicadores financieros



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, dado que el horizonte del proyecto se planteo para 5 años y como lo muestran la Figura 27, el periodo de recuperación de las tres alternativas es inferior al año proyectado por la empresa, es importante destacar la importancia de tener de referencia, no solo el periodo de recuperación, si no también el VPN, ya que en algunos proyectos se puede tener un periodo de recuperación corto pero un VPN que no favorezca al inversionista.

En los proyectos que cuentan con un flujo de fondos donde el primer periodo es negativo, se debe esperar tener como referencia una TIR mayor a la tasa de descuento, para los casos propuestos la TIR es superior a esta tasa, sin embargo se resalta la tasa interna de retorno cuando se cuenta con la financiación de un banco, dado que el inversionista aporta un valor menor a capital, y el restante es presentado en el flujo de caja como un gasto financiero, el cual permite descontar como ahorro fiscal.

Con el escenario de financiamiento de la empresa con recursos propios, se observa un periodo de recuperación de la inversión similar al financiado, sin embargo, el escenario con financiación es favorable dado que la TIR es superior, esperando un rendimiento futuro del 27.52% un incremento comparado con el escenario de la empresa de un 8.6% y de 2.56%

comparado con el escenario de aplicación de los incentivos tributarios, es decir que al descontar los flujos de efectivo a valor presente.

Cuando se contempla la opción por apalancamiento bancario, el proyecto genera una ganancia neta de \$93.563.498,36 con una inversión en el proyecto con recursos propios del 30% correspondiente a \$65.394.600, los indicadores muestran que se trata de un proyecto atractivo y rentable con una viabilidad financiera alta, teniendo en cuenta el VAN y costo beneficio registrado, siendo mayor que el dado por la proyectada por la empresa y por la aplicación de incentivos.

Por otro lado el escenario del proyecto con la aplicación de incentivos tributarios, muestra una mejora en los rendimientos futuros comparados con el escenario de la empresa, y una recuperación de la inversión expedita, dado el apalancamiento por parte del descuento en el valor de renta y la exclusión de IVA, este tipo de escenario puede ser un buen complemento para los otros dos escenarios, teniendo en cuenta la disminución de casi el 51% en el valor de por impuesto de renta respecto a los valores reportados por la empresa sin acceso al beneficio.

Aquí es importante añadir que la empresa debe tener en cuenta el tiempo y los trámites requeridos para la adjudicación de los incentivos, dado que estos tienen un tiempo de proceso de aproximadamente 6 meses, el procedimiento se describe en el Anexo 1.

6. CONCLUSIONES

En la identificación de oportunidades de medición de la industria que participo en el programa, se identificó que solo el 37% de esta, cuenta con medición específica, mejorando sus oportunidades frente a la identificación de mejoras energética que repercuten en una mejora en la competitividad de la empresa, de igual forma se identifica que el costo de la energía representa tan solo el 10% de los costos totales de la empresa, teniendo en cuenta esto, es necesario orientar las políticas a la mejora de la productividad y/o competitividad de las empresas, potencializando la implementación de sistemas de gestión de la energía que vayan más allá de solo la disminución del consumo de energía.

En las industrias pertenecientes al programa se identifica que los usos significativos de la energía están representados principalmente en motores y calderas, generando oportunidades de mejora significativo, para el caso de cambio tecnológico se determinó un potencial de ahorro de hasta un 25% en la disminución del consumo de energía; este valor refleja la importancia de robustecer la implementar medidas que contribuyan la adquisición de tecnología eficiente que contribuya no solo con la disminución de consumo de energía, sino también en la competitividad de la empresa.

La caracterización desarrollada en la empresa objeto de estudio identifico el consumo específico de la energía en la planta de 2.5339 kWh/kg, reflejando un alto consumo de energía utilizada para la producción de un kg de material, el cual se encuentra por encima de los estándares nacionales e internacionales, según refleja el estudio de benchmarking realizado donde el promedio de consumo específico se encuentra entre el 1.5 kWh/kg y el 2.5 kWh/kg, teniendo en cuenta lo anterior es necesario adoptar medidas que contribuyan a la disminución del indicador para ello se requerirá la optimización de los equipos, de tal forma que se genere un cambio

en el consumo de energía utilizado para transformar un kg de material, esta propiedad depende exclusivamente de la eficiencia con la que cuente el equipo produciendo, y por lo tanto está asociada al cambio tecnológico.

La comprensión de los procesos y pérdidas de energía, contribuye a saber dónde, por qué, cuanto y como se consume la energía, la comprensión de los efectos de las principales variables que cambian el proceso contribuyen a generar proyecto de eficiencia energética rentables, que en últimas dependerán de la toma de decisión de la alta gerencia, por tal razón es necesario utilizar herramientas de decisión en la inversión de proyectos de cambio tecnológico con el fin de realizar acciones encaminadas a la mejora del desempeño energético.

Se destaca la importancia de revisar la afectación de los cambios tecnológicos en el proceso productivo, ya que como se refleja en el capítulo 1, la energía contribuye en un 10% a los gastos totales de la empresa, lo que muchas veces no es representativo para una compañía, por esta razón muchos proyectos de eficiencia energética son visto como poco representativos, mientras que la producción es un factor de peso para la industria, por ello es importante tener en cuenta en la elaboración de un proyecto de cambio tecnológico, la contribución que este realizara a la mejora del proceso productivo y de indicadores como el consumo específico de energía que se traducirá en una mejora en la productividad y en la competitividad de la empresa.

la empresa debe tener en cuenta el tiempo y los trámites requeridos para la adjudicación de los incentivos, dado que estos tienen un tiempo de proceso de aproximadamente 6 meses, el procedimiento se describe en el Anexo 1.

Se concluye que las opciones planteadas son viables teniendo en cuenta los indicadores financieros, dado que los ahorros generados por el cambio de tecnología y controles operacionales generan un rendimiento significativo en los ingresos de la compañía, es aquí donde la empresa debe terminar la mejor opción teniendo en cuenta su nivel de endeudamiento para realizar el proyecto con apalancamiento financiero y si adicional cuenta con el tiempo para desarrollar el procedimiento requerido para acceder a los incentivos.

La propuesta metodológica plantea un nuevo escenario, orientado a tomar decisiones en la industria, identificando variables que afecten el proceso y por lo tanto identificando la mejores herramientas para mejorar el desempeño energético, permitiendo obtener impactos en la reducción específica del consumo de energía SEC, con este método se identifican los factores relevantes para el control de las ineficiencias en los procesos productivos, ayudando a definir las acciones que se deben tomar, orientadas a factores de producción, optimización de procesos, mejora de la calidad y de las inversiones tecnológicas, reflejados en beneficios en términos de productividad y calidad, mejorando la competitividad de la compañía.

En cuanto al caso de estudio, la aplicación de la metodología permitió un aumento significativo en la eficiencia energética del proceso por extrusión e inyección de polímeros aumentando la productividad en un 7.5% y reduciendo la producción no conforme en un 7% después de aplicar la metodología, se obtuvieron reducciones del SEC de un 8%.

BIBLIOGRAFÍA

- Bid – Bancoldex. (n.d.). Credito verde desde el segundo piso. Retrieved from <http://deo.iadb.org/2013/es/las-historias/credito-verde-segundo-piso/>
- Campos, J. C. (2008). El MGIE, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional. *El Hombre Y La Máquina*, (30), 18–31.
- Cantor, K. . (2010). Analyzing extruder energy consumption. *SPE Conference*, 603–609.
- CÁRDENAS, D. M. G. (2017). Ecoeficiencia energética del proceso de moldeo por inyección. Información técnica para la industria del plástico en Latinoamérica. *Tecnología Del Plastico*. Retrieved from <http://pet-eu.com/img/common/files/TECNOLOGIA-DEL-PLASTICO-VOL-32-ED-6.pdf>
- Colombia, U.-U. N. de. (n.d.). Sistema de información y gestión de conocimiento en Gestión energética. Retrieved from http://190.90.10.147:81/Principal/Login.aspx?ReturnUrl=/potencial/PAhorro.aspx?Opcion_Id=41&Opcion_Id=41
- CORFO. (2011). Renewable Energy. Retrieved from http://www.investchile.cl/opportunities/renewable_energy/renewable_energy
- Energía, M. de minas y. (2014). Ley 1715. Retrieved from http://servicios.minminas.gov.co/compilacionnormativa/docs/ley_1715_2014.htm
- Energía, M. de minas y. (2017). *Invierta y gane con energía*. Retrieved from http://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf
- Fenosa, G. (2015). Manual de Eficiencia energética para Pymes. Fabricación de productos de plástico CNAE 22.2. Retrieved from https://www.gasnaturalfenosa.es/servlet/ficheros/1297092541194/181%5C968%5CM anualEE_España_GrandesClientes_ES,2.pdf

- Hidraulicas, R. prensas. (2009). Catalogo extrusión e inyección de aleación ligera y pesada. Retrieved from <http://rolop.com.ar/wp-content/uploads/2015/10/Light-and-heavy-alloy-extrusion-press.pdf>
- ICONTEC. (2011). NTC-ISO 50001, Sistemas de Gestión de la Energía, Requisitos con orientación para su uso. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- Jatinder Madan a, b, Mahesh Mani a, C, Jae Hyun Lee a, D., & A, K. W. L. (2014). Energy performance evaluation and improvement of unit-manufacturing processes: injection molding case study. *Cleaner Production*, 157–170. Retrieved from ScienceDirect
- Ministerio. (2017). Resolución 1988 2017. Retrieved from [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/3e-res 1988 de 2017.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/3e-res%201988%20de%202017.pdf)
- Minminas. (2001). LEY 697 de 2001.
- MINMINAS. (2017). PROURE. Retrieved from http://www1.upme.gov.co/Documents/PAI_PROURE_2017_2022.pdf
- Mokate, K. (2010). *Evaluación financiera de proyectos de inversión*. (Alfaomega, Ed.) (2 edición).
- Montaña S, D.-M. (2018). MOTORES DE ALTA EFICIENCIA EN COLOMBIA ANÁLISIS DE MERCADO. *Congreso de Eficiencia Y Gestión Energética CIUREE VI*.
- Montaña S, D.-M. de gestión. (n.d.). Modelo Estratégico de Innovación para impulsar la Gestión Energética en Colombia. *Revista Energética*, 44(0120–9833).
- PEN-SGIE. (2013). *Programa estratégico para la innovación en la gestión empresarial, mediante la asimilación, difusión y generación de nuevos conocimientos en gestión energética y nuevas tecnologías e implementación del Sistema de Gestión Integral de la Energía en empresas*. Bogotá.
- Prias, O., Campos, J. C., Rojas, D., & Palencia, A. (2013). *Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía Guía con base en la norma NTC ISO 50001*.
- RECIEE. (2003). *Red Colombiana de Investigación en Eficiencia Energética*.
- Rosato, Dominick V., Rosato, Donald V., Rosato, M. G. (2000). Injection Molding

Handbook. *Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA.*

SAPAG, N. y S. (2007). *Preparación y Evaluación de Proyectos.* (M. G. Hil, Ed.).

SOSTENIBLE, M. D. A. Y. D. (2016). RESOLUCIÓN 1283 DE 2016. Retrieved from http://servicios.minminas.gov.co/compilacionnormativa/docs/resolucion_minambiente_ds_1283_2016.htm

UPME. (n.d.). Resolución 045-2016. Retrieved from <https://www.incp.org.co/Site/2016/info/archivos/resolucion-045-minminas.pdf>

UPME. (2007). *Sistema de Gestión Integral de la Energía Guía de Implementación.* (U. de P. M. E. UPME., Ed.). Bogotá.

UPME. (2017). Resolución 585 de 2017. Retrieved from http://www1.upme.gov.co/Normatividad/585_2017.pdf

Anexo 1- Incentivos tributarios Ley 1715

Actualmente gracias a la reglamentación de la Ley 1715 (Energía, 2014) la cual tiene como finalidad la promoción de las energías renovables no convencionales y el fomento a la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias, eficiencia energética y respuesta a la demanda.

Para ello se examinó la creación de incentivos tributarios orientados para incentivar la penetración de fuentes no convencionales de energía, estimular la inversión, la investigación y el desarrollo para la producción y utilización de este tipo de energía y la promoción de la eficiencia energética y la respuesta a la demanda.

La Ley 1715 presenta los siguientes beneficios económicos para los inversionistas en proyectos de generación de energía con fuentes no convencionales (Energía, 2014):

1. Deducción especial en la determinación del impuesto sobre la renta: inversiones que se realicen directamente en investigación y desarrollo en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de FNCE.
2. Depreciación acelerada: aplica para generadores de energía a partir de FNCE que realicen nuevas inversiones en maquinaria, equipos y obras civiles.
3. Exclusión de bienes y servicios de IVA: se otorgará para compra de equipos, elementos y maquinaria, nacionales o importados, o la adquisición dentro o fuera del país, según el listado del anexo de la resolución 045 de 2016 de la UPME (UPME, n.d.).
4. Exención de gravamen arancelario: Para maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente a labores de pre-inversión e inversión de proyectos de FNCE y que no sean producidos por la industria nacional y su único medio de adquisición sea la importación.

Para el caso puntual del proyecto relacionado con el sector industrial, donde se propone la inclusión de motores eléctricos de alta eficiencia, se debe tener en cuenta la reglamentación emitida por las diferentes entidades donde se adoptan las metas

ambientales descritas en el plan indicativo PROURE (MINMINAS, 2017), y que determinan el incentivo para este tipo de proyectos en el marco de la Ley 1715 , a continuación, se presenta la reglamentación:

- Resolución 41286 de 2016 del Ministerio de Minas (Energía, 2014): Por el cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2017-2022, que define objetivos y metas indicativas de eficiencia energética, acciones y medidas sectoriales y estratégicas (MINMINAS, 2017). En el artículo 4 de la resolución en mención se describen las metas de ahorro en los diferentes sectores:

Tabla 22 Metas indicativas de ahorro

METAS INDICATIVAS DE AHORRO 2017-2022		
SECTOR	METAS DE AHORRO (TJ)	METAS DE AHORRO %
TRANSPORTE	424.408	5,49%
INDUSTRIA	131.859	1,71%
TERCIARIO	87.289	1,13%
RESIDENCIAL	56.121	0,73%
	699.678	9,05%

Fuente: (MINMINAS, 2017)

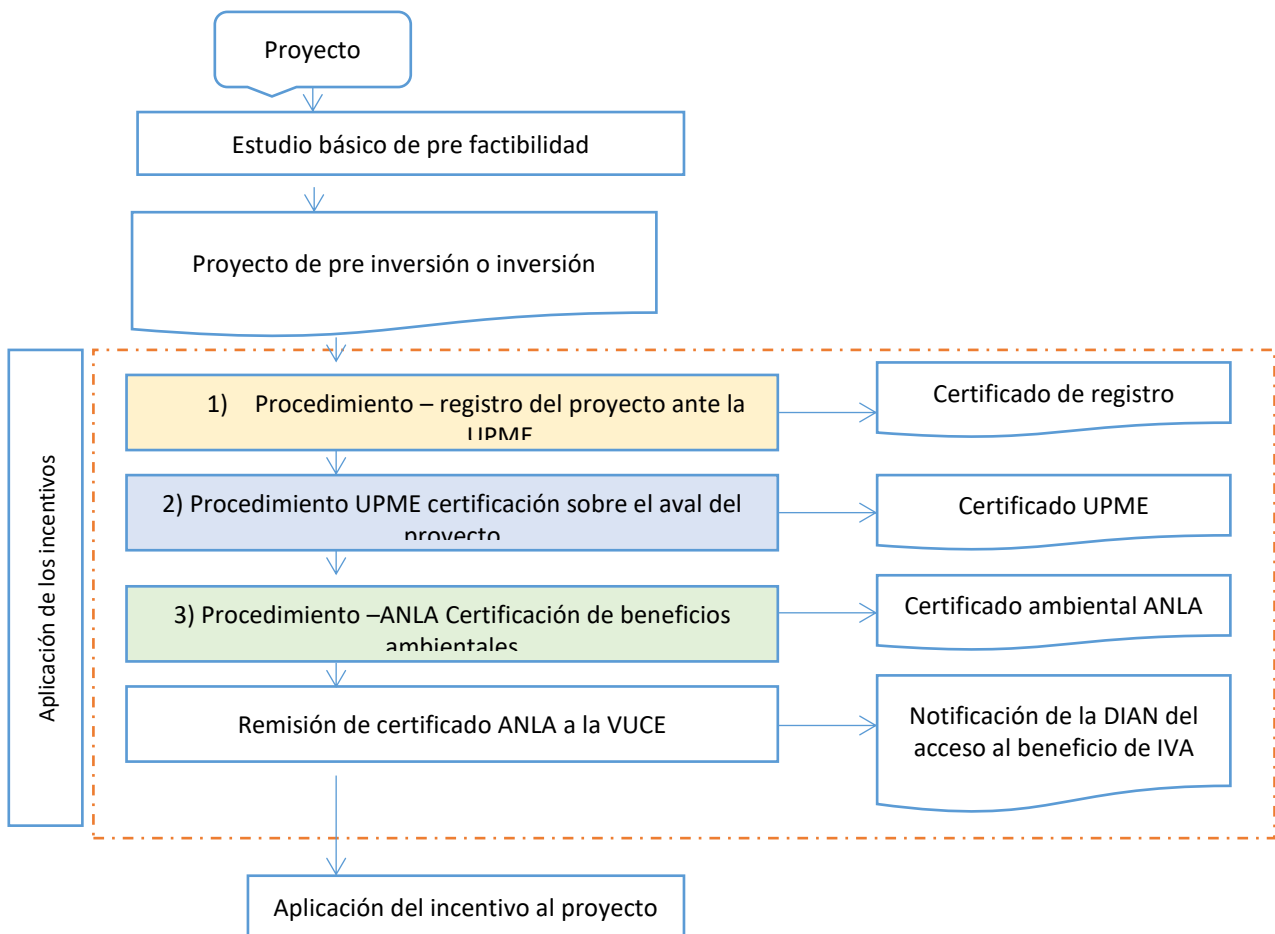
En el caso del sector industrial las medidas que se presentan son las siguientes:

- Medidas de eficiencia energética en energía eléctrica (Fuerza motriz, aire acondicionado, refrigeración, iluminación, instalaciones eléctricas, calor directo e indirecto).
- Medidas de eficiencia energética en combustibles sólidos para calor directo e indirecto.
- Medidas de eficiencia energética en Gas Natural para calor directo e indirecto.
- Medidas transversales de buenas prácticas operativas, BPO y diseño e implementación de Sistemas de Gestión de la Energía, SGEN
- Resolución 1988 del 28 de septiembre 2017 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (Ministerio, 2017), por el cual se adoptan las metas ambientales y se establecen otras disposiciones.

- Por último, la Unidad de Planeación Minero-Energética UPME, en la resolución 585 del 2 de octubre de 2017 (UPME, 2017), establece el procedimiento para conceptuar sobre los proyectos de eficiencia energética, gestión eficiente de la energía que se presenten para acceder al beneficio tributario de exclusión de IVA.

A continuación, se describe el procedimiento para obtener el incentivo de exclusión de IVA para el proyecto (Energía, 2017).

Figura 28 Procedimiento para obtener incentivos tributarios



Fuente: (Energía, 2017)

- **Procedimiento para certificado de registro:** para obtener el certificado de registro, es necesario radicar la solicitud de certificación y la documentación del proyecto, se asigna un encargado para el procesamiento de la solicitud, el cual revisara si esta, cumple o no con los requisitos necesarios para el registro, de no ser así se solicitan aclaraciones e información adicional, por el otro lado, si la solicitud cumple con todos los requisitos se procede a elaborar el certificado y

notificar al interesado. este procedimiento tiene una duración de **30 días calendario**.

- **Procedimiento para la solicitud ante la UPME del aval del proyecto:** es necesario radicar en la UPME la solicitud de certificación y documentación, posterior a la entrega el encargado técnico de dicha entidad, tendrá **15 días calendario** para solicitar aclaraciones, posterior a la solicitud de aclaraciones la empresa contara con **15 días calendario** para responder, de no ser así la solicitud se rechazará, una vez recibidas las aclaraciones en el término requerido el comité evaluador de la UPME, **15 días calendario** después expedirá la certificación del aval del proyecto. Este procedimiento tiene una duración de **45 días calendario**.
- **Procedimiento para certificación de incentivos ambientales -ANLA:** por último se solicita el certificado de incentivos ambientales frente a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, para iniciar el procedimiento se requiere radicar la solicitud teniendo en cuenta los requisitos generales y especiales previstos en la resolución 1283 de 2016 (SOSTENIBLE, 2016), la ANLA procederá a expedir el acto de inicio del trámite **5 días hábiles** después de la radicación de la solicitud, continuando con el procedimiento la ANLA, evalúa la información presentada en un término de **10 días hábiles**, de requerirlo, esta entidad solicitara aclaraciones, otorgando al solicitante **1 mes** contado a partir de la notificación de aclaración para remitir la información requerida, de necesitarlo el interesado podrá solicitar **15 días hábiles** más para reunir la información solicitada, posterior a la entrega de la información solicitada, la ANLA contara con **25 días hábiles** para emitir el certificado ambiental con vigencia de un año.

Como se describe, el trámite para solicitar y obtener los certificados necesarios para optar por el beneficio de impuesto sobre las ventas IVA el cual puede descontar de forma directa y la deducción de renta, puede llevar aproximadamente **180 días**.