
Departamento de Ingeniería Industrial.

Trabajo de diploma

**Título tesis: Implementación parcial de un Sistema de Gestión Energética en
la Empacadora “Roberto Quesada” basado en la ISO 50001.**

Autora: Yarirsy De la C. Castillo Reyes

Tutor: Dr.C. Reinier Abreu Naranjo

Ing. Yanitza Pérez Bernal

Curso 2013-2014

Pensamiento

La gratitud, como ciertas flores, no se da en la altura y
mejor reverdece en la tierra buena de los humildes.

José Martí

Dedicatoria

.....A mis niñas

Ellen Mariam y Ellin Maura

Agradecimientos

“...De agradecer no dejaré jamás. Es tal vez la alegría más grande que me llevaré de la Tierra: la bondad de los hombres...”

José Martí

En tan esperado momento deseo agradecer:

- A mi esposo por su incondicional ayuda, su comprensión y su interés en el logro de mis metas
- A mis hijas, porque me hacen seguir adelante y querer ser cada día mejor
- A mi tutor por guiarme en la realización de este proyecto
- A mi amiga y hermana Yaima, por darme apoyo y fuerza a seguir adelante en todos estos años en los momentos que más lo necesité
- A mi suegra por su apoyo y dedicación
- A todos los que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este trabajo: **“MUCHAS GRACIAS”**

Resumen

El presente trabajo se realizó a partir de la necesidad de estudiar el comportamiento energético de la Empresa Empacadora “Roberto Quesada”, para ello se utiliza la metodología propuesta en el sistema de gestión energética basado en la implementación parcial de la ISO 50001. Con el objetivo de integrar el desempeño energético a las variables de control operacionales a través de los requerimientos medulares, tal como plantea dicha norma.

Se estudió el comportamiento del consumo de electricidad para el periodo 2011 – 2013 y se evidenció que existe correlación entre ese portador energético y los niveles de producción con $R^2 = 0,789$. Además se cálculo el índice de consumo y se propone un valor de 112 kWh/ton como medida de la eficiencia.

Relacionado con el otro portador energético principal a tener en cuenta, el consumo de vapor, se realiza una propuesta para la sustitución de combustible fósil mediante el uso de un gasificador de una producción de 507 m³/h que utilice cáscara de arroz como material combustible. Se demuestra a través de los indicadores dinámicos financieros (VAN, TIR y PRD) con valores iguales a 612 077,23 pesos, 31% y 2,6 años, respectivamente.

Abstract

This work was carried out from the need to study the energy behavior of the Enterprise Packer "Roberto Quesada", for this the methodology proposed in the energy management system based on the partial implementation of ISO 50001 are used. In order to integrate the energy performance of operational variables control through the main requirements that propounds the standard.

It studied the behavior of electricity consumption for the period 2011 - 2013 and it was shown that there is a correlation between the energy bearer and production levels with $R^2 = 0,789$. Moreover, the consumption index was calculated and its value of 112 kWh / ton is proposed as a measure of efficiency.

Related to the other important energy bearer to consider in the study, steam consumption, as proposal for the replacement of fossil fuel by using a gasifier of a production of 507 m³ / h using rice husk as fuel material is performed. It is demonstrated through dynamic financial indicators that are feasible, (NPV, IRR and PRD) with values equal to 612 077,23 pesos, 31% and 2,6 years, respectively.

Pensamiento	2
Dedicatoria	3
Agradecimientos	4
Resumen	5
Abstract	6
Introducción:	9
Capítulo 1. Revisión bibliográfica	11
1.1. Situación energética mundial	12
1.2. Eficiencia energética y competitividad empresarial.	16
1.2.1. Conceptos Básicos	16
1.2.2. Indicadores Energéticos que se usan para medir el desempeño de la Eficiencia Energética	18
1.2.3. Indicadores energéticos a nivel de Empresa	18
1.2.4. Competitividad empresarial.	20
1.3. Vías para mejorar la competitividad a partir de la eficiencia energética.	21
1.4. Tipos de Diagnósticos Energéticos	22
1.5. Sistemas de Gestión energética	25
1.6. ISO 50001:2011. Sistemas de Gestión de la Energía	26
1.7. Aspectos generales del proceso de gasificación	32
1.8. Evaluación económica mediante indicadores dinámicos	33
1.8.1. Indicadores dinámicos	35
2. Capítulo 2. Materiales y métodos	37
2.1. Introducción	37
2.2. Modelo de Sistema de Gestión Energética, SGE. ISO 50001	37
2.3. Planificación energética	39
2.3.1. Análisis de los usos y consumos de energía	40
2.3.2. Identificación de los usos significativos de energía y estratificación	40
2.4. Determinación de la capacidad del gasificador a utilizar.	44
2.4.2. Estimación de los balances de masa y energía del gasificador	45

2.5. Herramientas utilizadas para el análisis de factibilidad económica preliminar en la inversión de un gasificador	47
2.5.1. Costo Total de Producción del gasificador	49
2.5.2. Depreciación	51
3. Capítulo 3. Análisis y discusión de los resultados	53
3.1. Introducción	53
3.2. Diagnóstico de la situación energética actual e histórica de la empresa.	53
3.3. Situación de la gestión energética en la empresa	55
3.4. Análisis de la energía eléctrica Empacadora “Roberto Quesada”	56
3.5 Análisis del consumo de vapor en la Empacadora “Roberto Quesada”	67
3.5.1. Estado actual	67
3.5.2. Propuesta para la utilización de un sistema de gasificación en la generación de vapor en la Empacadora “Roberto Quesada”	68
3.5.3. Análisis económico preliminar para el posible empleo de un gasificador acoplado al sistema de generación de vapor como oportunidad de ahorro energético	70
Conclusiones generales	73
Recomendaciones.....	74
Bibliografía.....	75
Anexos	77

Introducción

En la actualidad la distribución del consumo de energía está estrechamente vinculada con la calidad o estilos de vida, y el modelo económico imperante a nivel mundial nos permitió triplicar la producción de bienes materiales. [1]

Hasta hace unos años la energía resultaba de bajo costo y abundante, pero cada día aumentan más los consumos, sin importar su existencia, ni de donde provienen. Si se tiene en cuenta que el 90% del consumo de la energía mundial proviene de los combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) y las reservas de los mismos son limitadas, el consumo continuado y el ritmo actual de explotación es claramente insostenible. [2]

Sin duda encontrar una salida al problema energético global, constituye hoy un reto colosal. La solución a mediano plazo está cifrada en el aprovechamiento a gran escala de las fuentes renovables de energía. Cabe destacar aquí, que Cuba podría satisfacer una parte importante de su demanda energética mediante la utilización eficiente de la biomasa cañera, sin embargo, muchas de las tecnologías en que se sustenta la explotación de las energías renovables requieren aún de grandes inversiones iniciales (paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, sistemas para el uso eficiente de la biomasa, entre otros), lo cual las convierte en un patrimonio casi exclusivo de los países económicamente más desarrollados. A pesar de todo, existen soluciones a corto plazo para enfrentar la difícil situación energética, una de ellas, quizás la más sencilla y menos costosa es precisamente el ahorro de energía, con lo cual se puede enfrentar el calentamiento global, el cambio climático y todas las dramáticas consecuencias relacionadas con el sistema energético contemporáneo. [3]

Las empresas actuales buscan lograr el uso eficiente de energía, mejorar su productividad, aumentar su competitividad, y, contribuir a la reducción de emisiones de CO₂. La implantación de un sistema de gestión de energía, contribuye a lograr cumplir con estos objetivos.

Problema Científico: La no implementación parcial de un Sistema Gestión Energética en la Empacadora “Roberto Quesada”, limita la eficiencia energética de los procesos de forma sistemática, y mejorar los resultados empresariales mediante la identificación de soluciones técnicas precisas.

Objetivo General: Implementar un Sistema de Gestión Energética en la Empacadora “Roberto Quesada” mediante la ISO 50001 para fomentar el gestión eficiente de los portadores energéticos.

Objetivos Específicos

1. Revisión energética en la Empacadora “Roberto Quesada”, mediante principios de un sistema de gestión energética basado en la ISO 50001, para la determinación de oportunidades de mejoras en la eficiencia energética de la empresa.
2. Identificar indicadores de gestión para el seguimiento, control y evaluación de la eficiencia energética.
3. Proponer alternativas de aprovechamiento de los principales potenciales de ahorro como alternativas para mejorar la Gestión Energética de la empresa.

Hipótesis

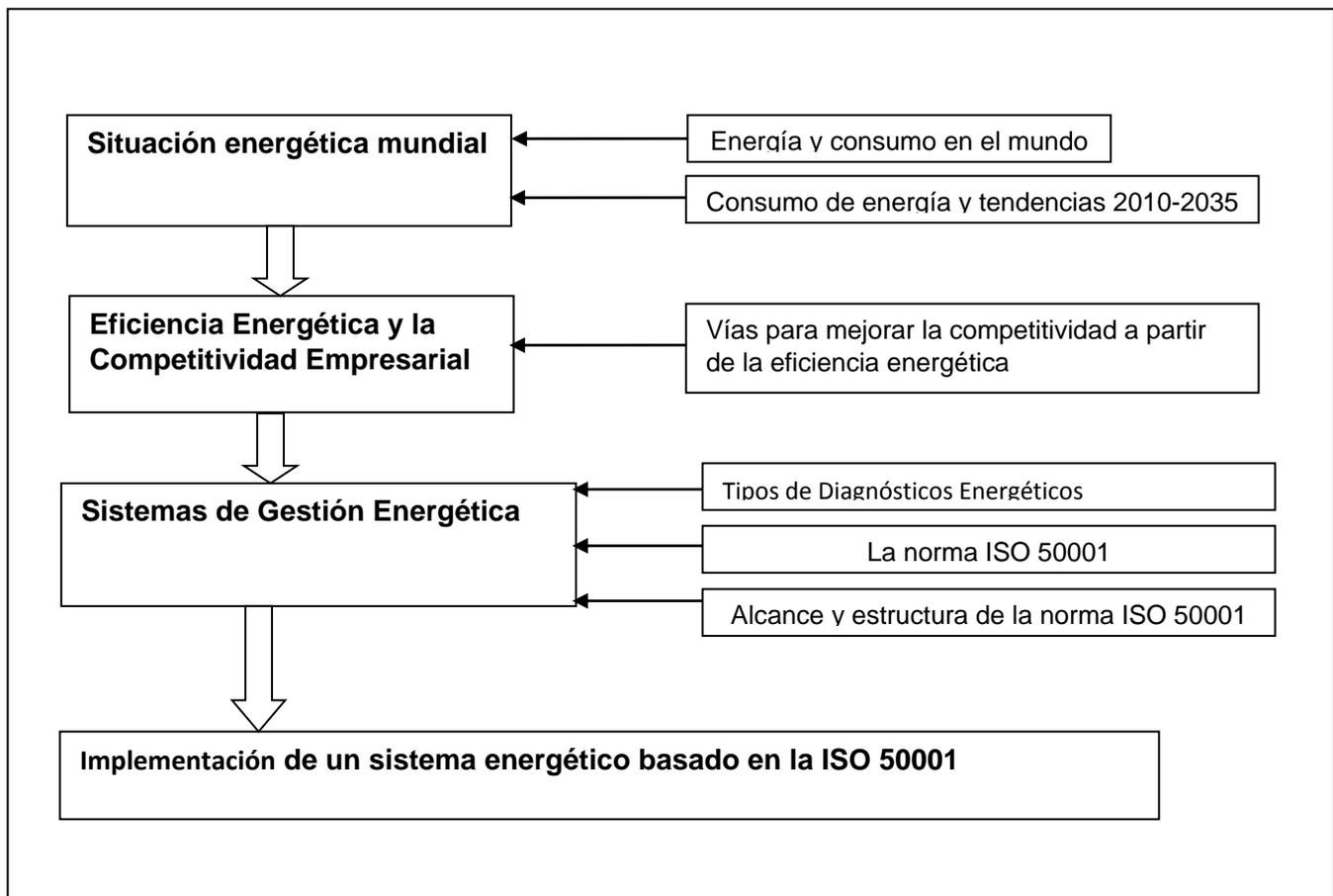
Si se implementa de forma parcial un sistema de gestión energética basado en la ISO 50001 en la Empacadora “Roberto Quesada”, entonces se podrá aumentar la gestión de la eficiencia energética de los procesos de forma sistemática, y mejorar los resultados empresariales mediante la identificación de soluciones técnicas precisas.

El Objeto de Estudio es la gestión eficiente de la energía.

Campo de Acción: El uso eficiente de la energía al implementar de forma parcial un sistema de gestión energética basado en la ISO 50001, en la Empacadora “Roberto Quesada”.

Capítulo 1. Revisión bibliográfica

El capítulo que presenta se realiza una revisión bibliográfica para profundizar en los aspectos teóricos de la investigación. Para ello, se sigue una secuencia lógica, la cual se puede apreciar en la figura 1.1.



Hilo conductor del marco teórico referencial de la investigación.

Fuente: Autor

Figura 1.1. Hilo conductor del marco teórico referencial de la investigación.

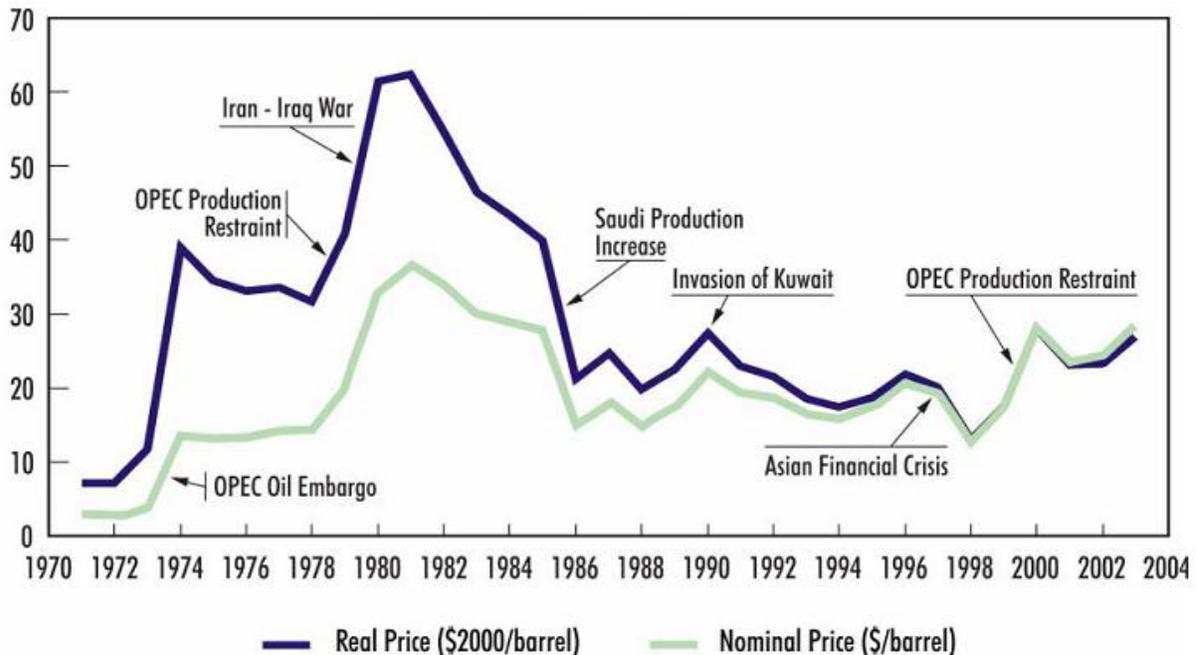
1.1. Situación energética mundial

La energía posibilita y facilita toda la actividad humana. La energía no significa nada si no entrega lo que se necesita de ella: luz, frío, calor, fuerza y movimiento, transporte y comunicación. Es en el uso final donde se concreta el beneficio de la energía. Antes no significa nada.

Las diferentes fuentes y sistemas de producción y uso de la energía utilizadas por el hombre han marcado las grandes etapas en el desarrollo de la sociedad humana, dependiendo el curso de éste de las elecciones energéticas realizadas en cada momento [4].

Cuando en 1973 se produjeron hechos importantes en el mercado del petróleo en el mundo (figura 1.2), que se manifestaron en los años posteriores en un encarecimiento notable de esta fuente de energía no renovable, resurgieron las preocupaciones sobre el suministro y precio futuro de la energía. Resultado de esto, los países consumidores, enfrentados a los altos costos del petróleo y a una dependencia casi total de este energético, tuvieron que modificar sus costumbres de consumo y buscar opciones para reducir su dependencia de fuentes no renovables.

La preocupación por el ahorro de energía se inició hace más de tres décadas, con motivo de la primera crisis del petróleo en 1973 y se ha intensificado ante la necesidad de proteger al medio ambiente de los efectos nocivos de la contaminación provocada por la combustión de combustibles fósiles.[5]



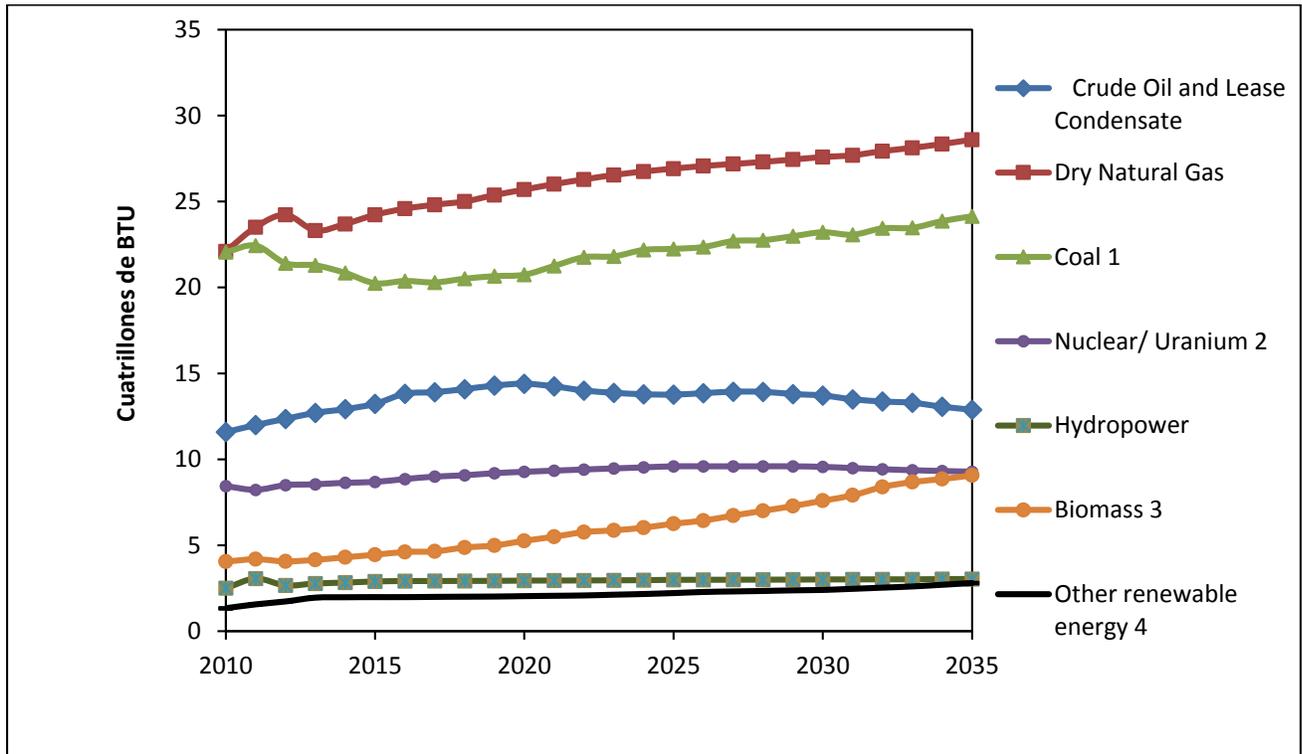
Fuente: *Analysis of the Impact of High Oil Prices on the Global Economy*, IEA. Mayo 2004.

Figura 1.2. Precio promedio del petróleo crudo de importación, de la Agencia Internacional de Energía (IEA).

Esto constituye otro elemento importante dentro de esta crisis, ya que la necesidad de buscar nuevas alternativas energéticas está basada no solo en las pocas reservas de combustibles fósiles de que se dispone, sino también, en la necesidad de disminuir el impacto ambiental negativo de la generación de energía a partir de este tipo de combustible. Con este fin, el autor considera que el ahorro que no es más que el uso racional, económico, seguro y sostenible de las distintas fuentes energéticas; se erige como la alternativa más plausible para los países pobres que no afecta su desarrollo.[6]

De acuerdo con las proyecciones, de la agencia del gobierno estadounidense **Energy Information Administration** que publica todos los años un estudio (**Internacional Energy Outlook 2012**) de prospectiva a largo plazo (fecha horizonte es el 2035) sobre la producción energética mundial, (figura 1.3). El escenario de referencia toma una tasa

de crecimiento del 2.6 por año desde el 2011 hasta el 2035 de los precios y la tecnología del crudo.



Fuente: <http://www.eia.gov>[7]

1-Incluye desechos de carbón

2- Estos valores representan la energía obtenida a partir de uranio cuando es usado en reactores ligeros de agua. Contenido total de energía del uranio.

3- Incluye la electricidad a partir de los desechos de la madera, la madera y biomásas como el maíz, y la madera usada para la producción de energía no eléctrica.

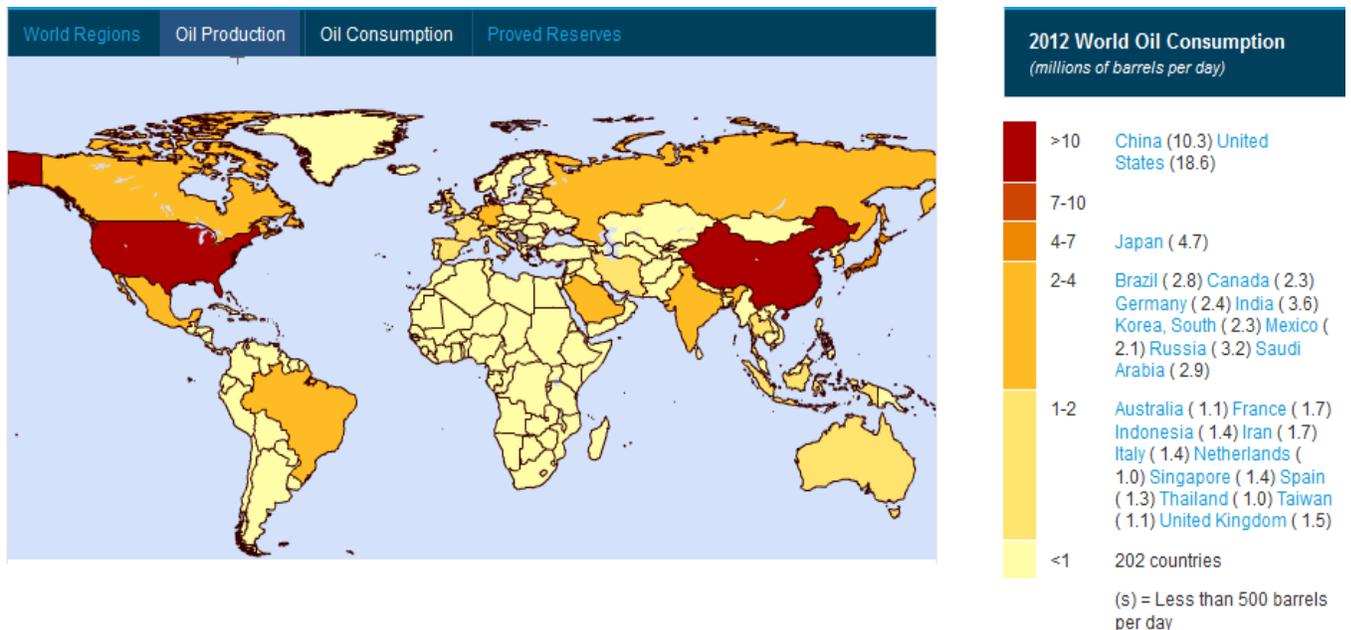
4-Incluye la electricidad producida a partir de los desechos sanitarios, desechos municipales, eólica, fotovoltaica y térmica solar.

Figura 1.3. Proyección de las principales fuentes de energías, 2010 – 2035.

De las Fuentes de energía primaria contenidas en el estudio, la que refleja un mayor aumento en su producción, es la biomasa con un valor de 118% para el 2035 con respecto al 2014. Seguida por el gas con un 22,9% y la hidroenergía con un 9,42%. Destacar que el petróleo crudo solo se prevé una subida del 1,41% en cuanto a su producción.

Las energías fósiles mantendrán el dominio entre las energías primarias utilizadas en el mundo en el 2035, aportando las tres cuartas partes de las necesidades energéticas.

El carbón es la energía que más crecerá en términos absolutos, seguida del gas natural. Los principales vectores que marcarán el crecimiento del gas y del carbón será la generación eléctrica. El consumo de electricidad subirá a una tasa promedio de 2,5% en el período. De acuerdo con Informe de la AIE, el 48% de la nueva potencia instalada en el mundo usaría el carbón y el 20% el gas natural.



Fuente: <http://www.eia.gov>. [7]

Figura 1.4: Consumo mundial de crudo en millones de barriles por día, 2012.

China, la India y Oriente Medio representan el 60% de dicho aumento. En la figura 1.4, se puede apreciar el comportamiento del consumo de crudo en el año 2012, donde se puede apreciar a EEUU y a China como los mayores consumidores.

Por otro parte, la demanda de energía apenas aumenta en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, (OCDE), aunque se observa un marcado alejamiento del petróleo y del carbón (y, en algunos países, de la energía nuclear), en beneficio del gas natural y las energías renovables.[6]

1.2. Eficiencia energética y competitividad empresarial

La eficiencia energética, entendida como la eficiencia en la producción, distribución y uso de la energía, necesaria para garantizar calidad total, es parte del conjunto de problemas que afectan la competitividad de las empresas o instituciones.

Eficiencia Energética implica lograr un nivel de producción o servicios, con los requisitos establecidos por el cliente, con el menor consumo y gasto energético posible, y la menor contaminación ambiental por este concepto. La energía cada día se encarece más, por ello en muchos casos uno de las principales partidas del costo total es el costo energético, donde se incluyen los componentes relativos a la producción, distribución y uso de las diferentes formas de energía y el agua.

1.2.1. Conceptos Básicos

El ahorro de energía, si bien no representa una fuente de energía en sí, se acostumbra a considerarla como tal, ya que ofrece la posibilidad de satisfacer más servicios energéticos, lo que es equivalente a disponer de más energía. El incremento de la eficiencia energética tiene un beneficio ambiental inmediato y directo, ya que implica una reducción en el uso de recursos naturales y en la emisión de contaminantes, incluido el CO₂. Sin lugar a dudas, la energía más limpia es la energía ahorrada.

El incremento de la eficiencia energética se logra mediante las acciones tomadas por productores o consumidores que reducen el uso de energía por unidad de producto o servicio, sin afectar la calidad del mismo.

Para evaluar los cambios en la eficiencia energética se utilizan indicadores de tres tipos fundamentales:

Índices de consumo:

- Energía consumida / Producción realizada
- Energía consumida / Servicios prestados
- Energía consumida / Área construida

Índices de Eficiencia:

- Energía teórica / Energía real
- Energía producida / Energía consumida

Índices Económico-Energéticos:

- Gastos Energéticos /Gastos Totales
- Gastos energéticos/Ingresos (ventas)
- Energía total consumida/Valor de la producción total realizada (Intensidad Energética)

Los siguientes conceptos son básicos para una buena comprensión:

Eficiencia: es la optimización de los recursos utilizados para la obtención de los resultados u objetivos previstos.

Eficacia: es la contribución de los resultados obtenidos al cumplimiento de los objetivos trazados.

Efectividad: es la generación sistemática de resultados consistentes integrando eficacia y eficiencia.

La eficiencia energética es la optimización de los recursos energéticos para alcanzar los objetivos económicos de la Empresa. Se mide a través de indicadores de eficiencia energética. [8]

1.2.2. Indicadores Energéticos que se usan para medir el desempeño de la Eficiencia Energética

Indicadores Globales

Los más utilizados por la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) son:

- * Consumo Total de Derivados del Petróleo, Consumo Final de Energía y Consumo Final Per Capita de Energía; se expresan en barriles de petróleo equivalente (bep) y bep/habitantes (bep/hab)
- * Consumo Final de Electricidad y Consumo Final de Electricidad Per Capita; se expresan en Gigawatts-horas (GWh) y Kilowatts-hora/hab.
- * Intensidad Energética: se define como el Consumo Final de Energía de un país entre su Producto Interno Bruto (este último expresado en dólares,\$); se expresa en bep/\$. Según OLADE (julio 1994) la intensidad energética promedio de la Región en ese año fue de 2,9 bep/\$.

1 bep = 1,613944 MWh.

1 barril de petróleo = 0,15898 m³ = 5.6143 pie³ = 158,98 litros = 42 galones

1.2.3. Indicadores energéticos a nivel de Empresa

La **intensidad energética**, aunque se emplea con determinadas limitaciones a nivel de empresa, se utiliza fundamentalmente para dar seguimiento a los cambios en la eficiencia con que los países o ramas de la economía usan la energía. Se define como la relación entre el consumo de energía en unidades tales como: Tcal, TJ o toneladas equivalentes de petróleo (TEP) e indicadores de la actividad económica, normalmente el producto interno bruto (PIB) o el valor agregado (VA) de la rama de actividad. Para una empresa, la intensidad energética sería la relación entre el consumo total de energía primaria y la producción mercantil expresada en valores.

Un monitoreo y control energético efectivo en una empresa o entidad de servicio, requiere de la utilización de un conjunto de indicadores de los tres tipos, y no solo a

nivel de empresa, sino estratificados hasta el nivel de las áreas y equipos mayores consumidores (“Puestos Claves”).

Índice de Consumo: unidades de producto terminado por unidad de energía consumida. Este valor de índice de consumo puede ser calculado por tipo de producto o como índice de consumo general en el caso que el tipo de producción lo permita (si son varios productos diferentes pero de un mismo material el índice puede reducirse a toneladas de ese material etc.). Si se consumen diferentes tipos de energía para un mismo producto debe determinarse el consumo equivalente haciendo compatibles los diferentes tipos. Este índice permite su comparación con las normas de consumo establecidas para la Empresa. Ejemplo de índices de consumo: Tn cemento / tn equivalentes de petróleo; gramos equivalentes de petróleo / kWh; Kilogramos de vapor / Kilogramos de petróleo equivalente; MWh / cuarto noche ocupado.

El consumo equivalente de energía asociada a los productos o servicios realizados por la Empresa se expresa en toneladas de petróleo equivalentes. Las toneladas equivalentes de petróleo se determinan mediante factores de conversión que relacionan el valor calórico real del portador energético con el valor calórico convencional asumido. (Ver siguiente tabla).

Tabla 1.1. Factores de Conversión.

Toneladas de:	por factor de conversión:	= Toneladas equivalentes de petróleo
Diesel	1.0534	
Gasolina	1.0971	
Fuel oil	0.9903	
Gas licuado	1.163	
MW	0.3817	

Estos factores pueden variar en dependencia del valor calórico real del portador energético, la actualización de los mismos puede obtenerse en la literatura.

Índice de gasto energético: gastos en energéticos por pesos de gastos totales de la Empresa. Generalmente se expresa en centavos de gastos energéticos por pesos de gastos totales. Este indicador está afectado por la fluctuación de los precios de sus componentes y no constituye un indicador de eficiencia energética, pero da una idea del peso del consumo energético en los gastos totales de la Empresa. Teniendo en cuenta la doble moneda circulante en el país en ocasiones existe diferencia significativa cuando se determina en moneda nacional y en moneda libremente convertible, por lo que se recomienda determinarlo de ambas formas. Este indicador puede estratificarse y determinarse por tipo de energía consumida para conocer cuál aporta más a los gastos energéticos de la Empresa.

Índice relativo de la variación del gasto en energéticos: se determina para comparar un período con otro de la Empresa en el que se trabajó en igualdad de condiciones, para evaluar el impacto de medidas de control o técnico organizativas tendientes a disminuir los consumos energéticos. Se calcula como la variación de los gastos de energéticos en un período de tiempo dado con respecto a la variación de los gastos totales en el mismo período de tiempo. Este indicador nos muestra como fue en el período la variación de los gastos energéticos con respecto a la variación de los gastos totales. Puede interpretarse de diferentes formas en dependencia de las variaciones que ocurran en el numerador y denominador: pesos de disminución de los gastos energéticos por peso de incremento de los gastos totales, pesos de incremento de los gastos de energéticos por peso incrementado en los gastos totales.

1.2.4. Competitividad empresarial

Los aspectos básicos que determinan la competitividad de una empresa o institución son la calidad y el precio de sus productos o servicios. La posición en el mercado y la estrategia de cambio de posición vienen determinadas por la relación calidad – precio con respecto a otras empresas de la competencia, (ver figura 1.5).

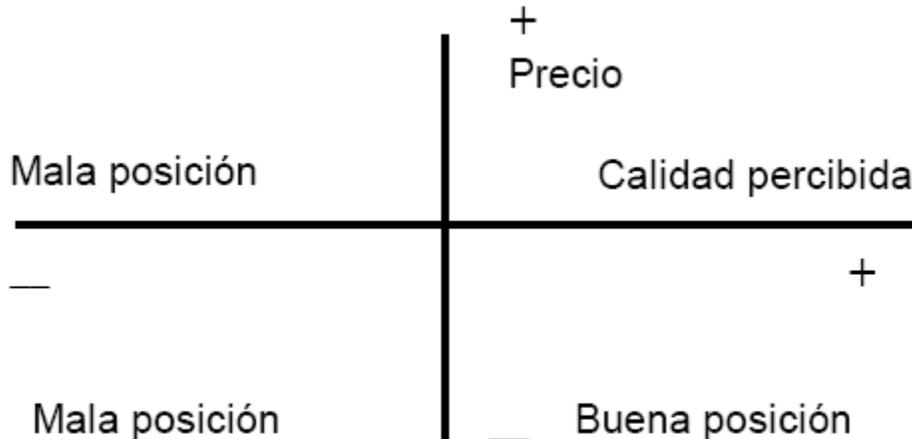


Figura 1.5. *Posición en el mercado de una empresa.*

El objetivo estratégico de todo empresario es ubicarse en el cuadrante de "buena posición", y dentro de este, en la punta de la competencia, logrando mayor calidad y menor precio, o en el caso de precios fijados por un mercado globalizado, mantener una alta calidad con los menores costos posibles, para aumentar las utilidades. Un programa de aumento de la eficiencia energética reduce los costos, permite disminuir el precio o aumentar las utilidades, asegurando la calidad y mejorando la competitividad de la empresa, es decir su posición en el mercado. [4]

1.3. Vías para mejorar la competitividad a partir de la eficiencia energética

Existen dos premisas fundamentales para mejorar la competitividad a partir de la eficiencia energética:

1. A través de proyectos de control y de mejoras de la eficiencia de los procesos de producción y distribución de la energía en la empresa o institución.
2. Mediante proyectos de mejoras de la calidad de la producción y los servicios que usan alguna forma de la energía en la empresa o institución.

A partir de lo evidente de que al mejorar la eficiencia energética de los procesos de producción y distribución de la energía y la calidad de la producción y los servicios que la usan, disminuye el precio y aumenta la competitividad.

El impacto de los costos energéticos sobre los costos totales de producción depende del sector y tipo de empresa o entidad. Pero aún en aquellas empresas donde la energía no representa una de las principales partidas, es importante la administración eficiente de la energía. Así consta en el Manual de Gestión Energética de la Compañía Coca Cola, puesto en vigor desde 1980, en la presentación del cual se plantea: “El control del costo de la energía es una estrategia importante para mejorar la rentabilidad. En una planta embotelladora típica, los costos de la energía representan un pequeño porcentaje de costo de producción total, pero es el apartado que crece más rápidamente y uno de los pocos costos que pueden ser realmente controlados.”[9] El ahorro de energía, si bien no representa una fuente de energía en sí, se acostumbra a considerarla como tal, ya que ofrece la posibilidad de satisfacer más servicios energéticos, lo que es equivalente a disponer de más energía. El incremento de la eficiencia energética tiene un beneficio ambiental inmediato y directo, ya que implica una reducción en el uso de recursos naturales y en la emisión de contaminantes, incluido el CO₂. Sin lugar a dudas, la energía más limpia es la energía ahorrada.[10]

1.4. Tipos de Diagnósticos Energéticos

Para iniciar un programa de ahorro de energía se requiere de varias condiciones técnicas y administrativas. Dentro de las técnicas, el diagnóstico o auditoría energética es la parte inicial que indicará los puntos más relevantes de desperdicio energético e indicará el orden en que deberán irse corrigiendo conforme a su análisis técnico y de costo-beneficio. [11] No obstante, algunos de los aspectos que aparecen frecuentemente, es el tiempo que tardan en realizarse los diagnósticos energéticos, su costo y la dificultad de aprovechar la experiencia generada en el tema en países industrializados, debido a que sus métodos de análisis energéticos y sus soluciones

tecnológicas han sido desarrollados para sus características particulares y no pueden ser directamente empleados en nuestra situación actual.

El diagnóstico energético es conocido también como auditoría energética, sin embargo en determinados países el término “auditoría” tiene una connotación diferente, pues implica algo fiscal o contable. Un diagnóstico energético consiste en conocer, cómo se está utilizando la energía en la instalación, cuándo es que se consume, cuánto se está pagando por ella, proporciona un programa para efectuar cambios en las condiciones de operación que resulten en una disminución de los consumos energéticos, en aumentar la productividad, calidad y el control del efecto sobre el medio ambiente de cualquier empresa, en las nuevas condiciones que se están creando en el ámbito nacional e internacional; establece el grado de eficiencia de su utilización, para lo cual se requiere una inspección y un análisis energético detallado de los consumos y pérdidas de energía.

Existen tantos tipos de diagnósticos como procesos industriales, son complejos e interesantes ya que se encuentra una gran variedad de equipo en estas instalaciones, como son: diferentes tipos de calderas, hornos, enfriadores de agua, luminarias, motores, etc., variando en tamaño, enfoque, precisión y costos, dependiendo de las fuentes y necesidad es del proceso en el cual se desarrolla el mismo. Sin embargo, la literatura internacional establece tres niveles de diagnóstico energético: “A”, “B” y “C”.

El nivel “A” suele ser la fase inicial de las acciones de todo programa de uso racional de la energía y frecuentemente llega a obtener resultados satisfactorios con relativamente poco esfuerzo, provee la orientación necesaria para cumplir las funciones del departamento de conservación de energía o su equivalente. Este nivel, comúnmente referido como el nivel de inspección, se lleva al cabo mediante un examen visual del proceso industrial de que se trate, reconociéndolo y revisando el diseño original, para dar una idea cualitativa de los ahorros potenciales, obvios de energía, que pueden lograrse por medio de procedimientos de mantenimiento y operación. Este nivel es el menos costoso de los tres y da idea de los costos de energía. A través de este nivel, se detectan rubros importantes de ahorro como fugas

de energía, mala operación de los equipos o instrumentos, mal funcionamiento de ellos, etc.

El nivel “B” proporciona información sobre el consumo de energía por áreas funcional eso procesos específicos de operación. Se puede adoptar el término de “subsistema” para referirse a esas áreas o procesos. En el nivel “A” se adoptará el término de sistemas para determinar el proceso industrial completo. El nivel “B” requiere de estudios de ingeniería más detallados y de mayor inversión en activos para poder realizarse, ya que detecta los subsistemas de mayor desperdicio energético. Este nivel provee datos acerca del ahorro de energía y de la reducción de costos, determinando de esta forma las metas específicas del departamento de conservación de energía. Éste se considera a corto y mediano plazo ya que requiere, principalmente, del uso de equipo con baja y mediana inversión. El costo de realización es mayor que el del nivel “A”, pero menor que el del nivel “C”. Este nivel proporciona datos cuantitativos de los ahorros potenciales de energía y, en general, de las características energéticas de cada subsistema. En la aplicación del diagnóstico, a este nivel, será necesario contar con la instrumentación suficiente.

El último de los tres **niveles, “C”**, implica cambios más profundos y consecuentemente requiere de mayor inversión por que proporciona información precisa y comprensible, de todos y cada uno de los puntos relevantes del diagrama del proceso industrial (entradas y salidas de energía), así como las pérdidas de energía en cada uno de los equipos. Este nivel está caracterizado por instrumentación extensiva, por la adquisición de datos y por los estudios de la ingeniería involucrados. Se considera que son acciones a mediano y largo plazo y un periodo largo de maduración, siendo el más costoso de los tres niveles, pues permite analizar y detallar todas las pérdidas de energía. Provee además, suficiente información para justificar los proyectos de inversiones de capital que intenten obtener un uso eficiente de la energía, o bien, recuperar energía desperdiciada. A diferencia del nivel “B”, el nivel “C” proporciona la cuantificación clara y precisa de la energía en el sistema.

1.5. Sistemas de Gestión energética

Ante el gran problema existente por la disponibilidad de los recursos energéticos y el coste creciente de la energía, su influencia en la estructura de costes de las empresas es cada vez más relevante. La reducción de este tipo de costes ha adquirido una gran importancia, por ello, la gestión energética se convierte en una clave competitiva de la empresa. Esto produce la necesidad de implantar sistemas de gestión que faciliten el ahorro de energía. [12]

El Sistema de Gestión Energética es el conjunto de procedimientos y actividades integrados en el sistema organizacional de la empresa, para alcanzar el consumo mínimo de energía. El sistema de gestión energética engloba el compendio de medios que dispone la Dirección de una empresa para alcanzar los objetivos en materia energética. Estos medios se traducen en:

- La dotación de recursos económicos y humanos que desencadenan cambios en la estructura organizativa.
- La asignación de nuevas responsabilidades.
- La creación de procesos y procedimientos que estipulen y faciliten el entendimiento.
- La aplicación de la política energética elegida.

En cuanto a las ventajas de implantar un sistema de gestión energética podrían resumirse en el siguiente cuadro: [13]



Fuentes: Guía de implementación de un sistema de gestión energética. [11]

Figura 1.6: Ventajas de la implementación de un SGE.

1.6. ISO 50001:2011. Sistemas de Gestión de la Energía

La norma **ISO 50001**, Energy Management Systems, publicada en junio de 2011, establece los requisitos que debe tener un sistema de gestión de la energía en una organización para ayudarla a mejorar su desempeño energético, aumentar su eficiencia energética y reducir los impactos ambientales, así como también incrementar sus ventajas competitivas dentro de los mercados en los que participan, todo esto sin sacrificio de la productividad. Esta norma fue publicada oficialmente el 15 de junio de 2011 por la **Organización Internacional para la Estandarización (ISO)**. [14] En su elaboración mediante un comité en el que participaron expertos de más de cuarenta países.

Esta Norma Internacional es aplicable a organizaciones de todo tipo y tamaño, independientemente de sus condiciones geográficas, culturales o sociales.

La propuesta de ISO busca proveer una estructura de sistemas y procesos necesarios para la mejora del desempeño energético, incluyendo la eficiencia, uso y consumo de la energía para lograr:

- Medir el consumo energético y los insumos a nivel de áreas, sub-procesos y equipos
- Registrar los datos
- Reportar consumo energético
- Identificar oportunidades de reducción de consumo energético
- Mejora del desempeño energético

Para ello la norma se basa en un sistema **Plan > Do > Check > Act** (Planificar > Hacer > Comprobar > Actuar) o ciclo de Deming, de mejora continua que incorpora el SGE en todas las prácticas de la empresa. [15]

- **Planificar**: establecer los objetivos y procesos necesarios para obtener resultados de acuerdo a las oportunidades para mejorar el desempeño energético de la empresa y sus políticas.
- **Hacer**: Busca implementar procedimientos y procesos regulares, con el fin de controlar y mejorar el desempeño energético.
- **Verificar**: monitorear y medir procesos y productos en base a las políticas, objetivos y características clave de las operaciones y reportar los resultados.
- **Actuar**: tomar acciones para estar mejorando continuamente el desempeño energético.

El modelo del sistema de gestión energética de la norma ISO 50001, incorpora la gestión energética en las prácticas diarias de la organización. La gestión energética propuesta, requiere la identificación del lugar donde se usa la energía, donde se pierde, y, en qué lugar el uso de medidas de ahorro energético tendrá mayor efecto. [13]

La estructura de la norma ISO 50001 incluye el cumplimiento de algunas etapas [14]:

- Levantamiento de requisitos generales

- Definición de la política energética de la institución
- Elaboración de la planificación energética
- Implementación y operación de la planificación
- Verificación de resultados, y, revisión de gestión.

Según el ciclo de mejoramiento continuo que propone la ISO a través de sus estándares, establece un grupo determinados requerimientos (ver Anexo 1). Sin embargo a los intereses del trabajo solo abordaremos los que clasifican en requerimientos medulares, con el fin de facilitar la futura implementación.

Los requerimientos medulares son todos aquellos centrados en la gestión misma de la energía. Esto quiere decir que si una organización decide trabajar sólo en ellos, igualmente estará integrando el desempeño energético en sus variables de control operacional y será posible ver resultados en su consumo de energía y costos asociados a él.

Estos requerimientos corresponden a todas las actividades de análisis del uso y consumo de energía y desempeño energético, así como los requerimientos de control operacional, diseño, compra y monitoreo.

De esta forma, el siguiente esquema presenta las actividades medulares como la esencia del SGE:

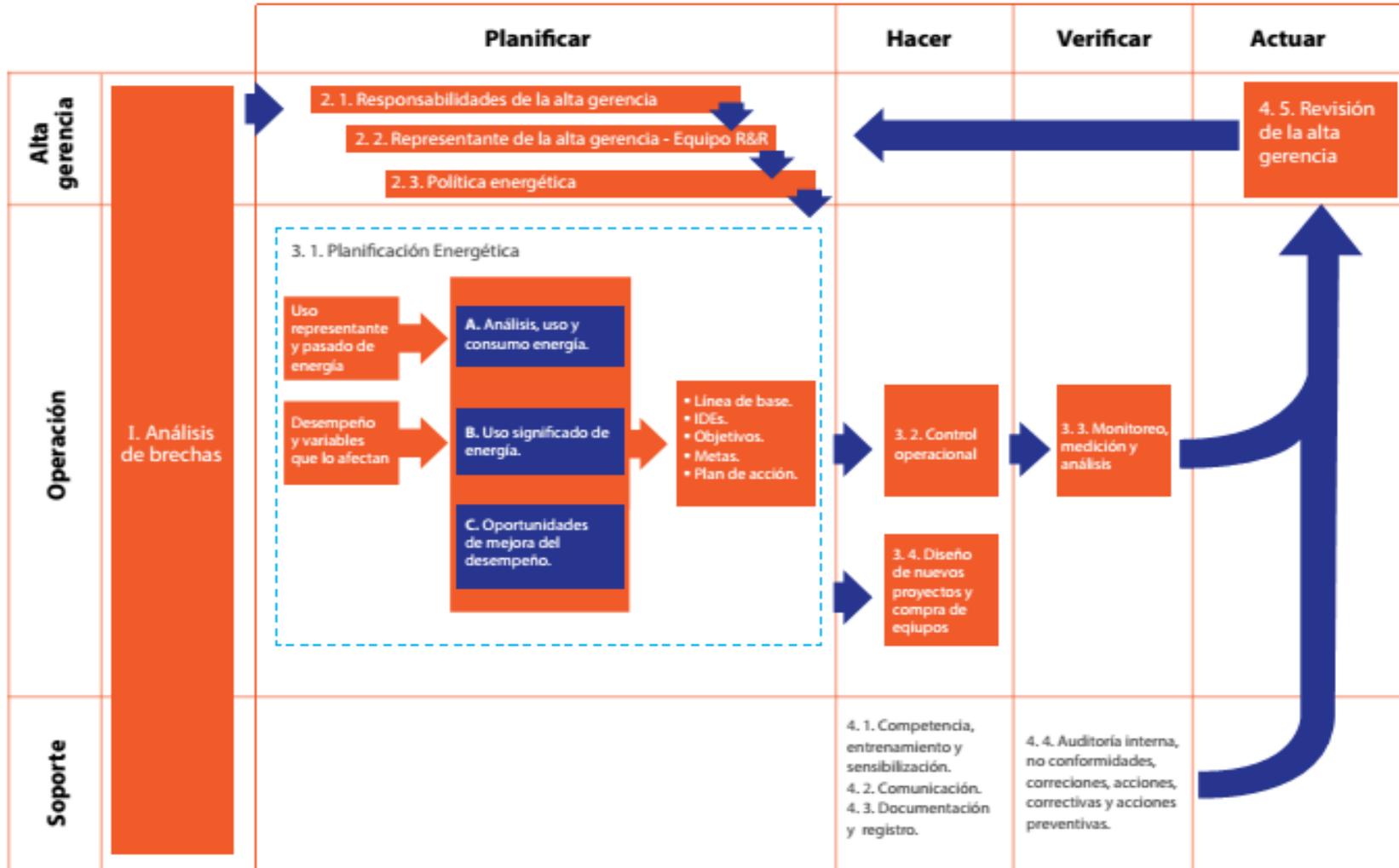


Fuente: Sistema de gestión en la energía en ISO 50001.

Figura 1.7: Actividades medulares como la esencia del SGE.

La figura 1.8 presenta la secuencia de actividades a desarrollar en la implementación de un sistema de gestión de la energía basada en ISO 50001. [16]

Capítulo 1: Revisión bibliográfica



Fuente: Guía de implementación ISO 50001.

Figura1. 8: Implementación del sistema de gestión de energía basada en ISO 50001.

1.7. Aspectos generales del proceso de gasificación

Existen varios procesos termoquímicos que convierten la energía química de la biomasa en energía térmica: Combustión, gasificación y pirolisis, de ellos el de mayor perspectiva es la gasificación, puede convertir de un 60% hasta 90% la energía de la biomasa en energía del gas. [17, 18]

La gasificación es la conversión de biomasa en una mezcla de gas combustible por la oxidación parcial de biomasa a altas temperaturas, típicamente en el rango 800 – 900 °C, en un medio de gasificación como aire, oxígeno o vapor. A diferencia de la combustión donde la oxidación es sustancialmente completa en el proceso, la gasificación convierte la energía química intrínseca del carbón en la biomasa en un gas combustible. El gas producido es más homogéneo en cuanto a su calidad y más fácil y versátil para usar con respecto a la biomasa original. El gas puede ser combustionado directamente, en motores de combustión interna, turbina gas o usado como materia prima para producir combustibles líquidos. [19]

El gas producido es una mezcla principalmente de monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, hidrógeno y vapor de agua. Tanto la composición del gas como sus propiedades pueden variar en correspondencia a las condiciones de operación, tecnología y agente oxidante usados. Una propiedad importante es su valor calórico (VC).[18, 20]

De forma general se puede clasificar:

VC bajo 4 - 6 MJ/Nm³

VC medio 12 – 18 MJ/Nm³

VC alto 40 MJ/Nm³

El gas de bajo VC por lo general es usado directamente en la combustión o en motores de combustión interna, mientras los gases de VC medio/alto pueden ser utilizados como materia prima para la subsiguiente conversión en productos químicos antiácidos, principalmente el metano y metanol.[21, 22]

La gasificación presenta una serie de ventajas con respecto a la biomasa original:

- 1.-El gas producido es más versátil y se puede usar para los mismos propósitos que el gas natural.
- 2.-Puede quemarse para producir calor y vapor, y con una máquina térmica se puede generar energía mecánica y eléctrica.
- 3.-Produce un combustible relativamente libre de impurezas y causa menores problemas de contaminación al quemarse.
- 5.-En principio, un gasificador simple y pequeño puede ser construido en talleres metal mecánicos convencionales.

Gasificación VS. Combustión.

La gasificación ofrece algunas ventajas respecto a la combustión directa:

- 1.- Necesita una menor cantidad de aire.
- 2.- Menor emisión de particulados.
- 3.- Menor contaminación ambiental.
- 4.-El gas producido se puede almacenar y utilizarlo posteriormente.
5. Mayor eficiencia de conversión, en la práctica la gasificación puede convertir de un 60% hasta 90% la energía de la biomasa en energía del gas

1.8. Evaluación económica mediante indicadores dinámicos

Para ejecutar un proyecto es imprescindible contar con los recursos materiales y humanos necesarios para cumplir con las tareas propuestas en su diseño, por lo que es de principal importancia realizar un estudio detallado de los mismos y una valoración económica de su costo para comenzar su ejecución con el aseguramiento correspondiente. El objetivo final de toda investigación es llevar a la práctica social los resultados obtenidos y cuando su introducción necesita de una inversión se hace necesario hacer un estudio dinámico de prefactibilidad económica para asegurar que el proyecto sea atractivo para el inversionista, lo que definirá si se ejecuta o no la inversión.[23]

Existen muchos métodos para la evaluación de proyectos, aunque los más difundidos en la actualidad, y los más confiables, son aquellos que toman en consideración el valor del dinero en el tiempo al analizar los beneficios y costos esperados durante la vida útil del equipamiento.

Los métodos que toman en consideración el valor del dinero en el tiempo se conocen como *Métodos de Descuento o Técnicas de Valor Descontado*.

El *valor del dinero en el tiempo* significa que un determinado capital que se tiene en la actualidad va incrementando su valor en el futuro a determinada tasa de interés fijada. Dicho de otra forma, una cantidad de dinero en la actualidad tiene más valor que otra a recibir en el futuro, debido a que la primera ganará cierto interés o rendimiento al ser invertida.[24]

Existen diversas técnicas de valor descontado, aunque todas ellas se basan en el descuento a valor presente de las cantidades futuras o flujos de caja.

Los flujos de caja son la diferencia neta entre beneficios y costos en cada uno de los años, refleja el dinero real en caja. Para su determinación se toma como convenio que las entradas a caja (ingresos) son positivas, y las salidas (gastos) son negativas, lo cual quiere decir que los signos de los flujos de caja resultan del balance anual entre costos y beneficios.

Evaluación del valor del dinero a través del tiempo:

$$F = P \cdot (1 + r)^i$$

Donde:

$F \Rightarrow$ Valor futuro de una cantidad presente

$P \Rightarrow$ Dinero, \$.

$r \Rightarrow$ Tasa de interés fijada, fracción.

$i \Rightarrow$ Año para el cual se desea determinar el valor futuro de la cantidad presente.

El proceso de actualización a valor presente se realiza de la siguiente manera:

$$P = \frac{F}{(1 + r)^i}$$

La tasa r generalmente se denomina como tasa de interés cuando se trata de hallar el valor futuro o capitalizado de una cantidad, y tasa de descuento cuando se realiza el proceso inverso o de actualización, por lo que la representaremos en este último caso como D .

1.8.1. Indicadores dinámicos

Estos elementos permiten en gran medida conocer el grado de rentabilidad de una inversión mediante los cuales se obtiene la fiabilidad en el tiempo de la inversión proyectada. A continuación se aborda de forma resumida las definiciones generales de los indicadores dinámicos: El valor presente neto o actual (NPV o VAN) y la tasa de retorno de flujo de caja descontada (DCFR o TIR), son los indicadores dinámicos que con más fuerza utilizan los empresarios. [23, 25]

Rango de valores límites para que el proyecto sea económicamente viable:

Técnica de Evaluación Rango adecuado

VPN, \$ $VPN \geq 0$

TIR, % $TIR \geq D$

PRD, años $PRD \leq n$

Desde luego, sería ilógico realizar una inversión para esos valores límites. Generalmente en el análisis se fijan determinados valores límites de acuerdo con las políticas nacionales o de la empresa donde se analicen.

Conclusiones parciales

- 1.- El análisis bibliográfico realizado muestra la enorme importancia y actualidad de las energías en el mundo, sin la cual no es posible el desarrollo de los países incluida Cuba; sin embargo el modelo energético actual es insostenible a partir de combustible fósiles por su agotamiento, altos costos e incremento de la generación de gases de efecto invernadero.
- 2.- Aunque existen programas y políticas mundiales para el incremento de otras fuentes de energía más limpias, los pronósticos EIA hasta el 2035 proyectan un sistema energético basado en los combustibles fósiles; no obstante, cualquiera que sea la solución, la eficiencia energética presenta diversas oportunidades del ahorro, uso racional y económico de las fuentes primarias a corto plazo.
- 3.- La implementación de un SGE en particular la ISO 50001, ayuda a mejorar el desempeño energético, aumentar su eficiencia energética y reducir los impactos ambientales, así como también incrementar sus ventajas competitivas dentro de los mercados de la empresa o instalaciones.
- 4.- La gasificación es un proceso altamente atractivo para la implementación de fuentes de energías renovables y oportunidad de ahorro de combustibles fósiles.
- 5.- Los indicadores dinámicos resultan ser una herramienta adecuada para en la evaluación económicas de proyectos de inversión.

2. Capítulo 2. Materiales y métodos

2.1. Introducción

En presente capítulo se describen los aspectos relacionados con los materiales y métodos utilizados en el estudio. Se parte del propio modelo de gestión de la ISO 50001 que sirve de guía para la implementación de la misma. Además, se realiza una descripción de las principales etapas y elementos que por su importancia se considera que deben ser abordados.

2.2. Modelo de Sistema de Gestión Energética, SGE. ISO 50001

Al igual que otros estándares ISO, la norma de sistema de gestión de la energía se enmarca en el ciclo de mejoramiento continuo PDCA (Plan, Do, Check, Act = planificar, hacer, verificar, actuar), como se describió en el capítulo anterior. [15, 16]. *Ver figura 2.1.*

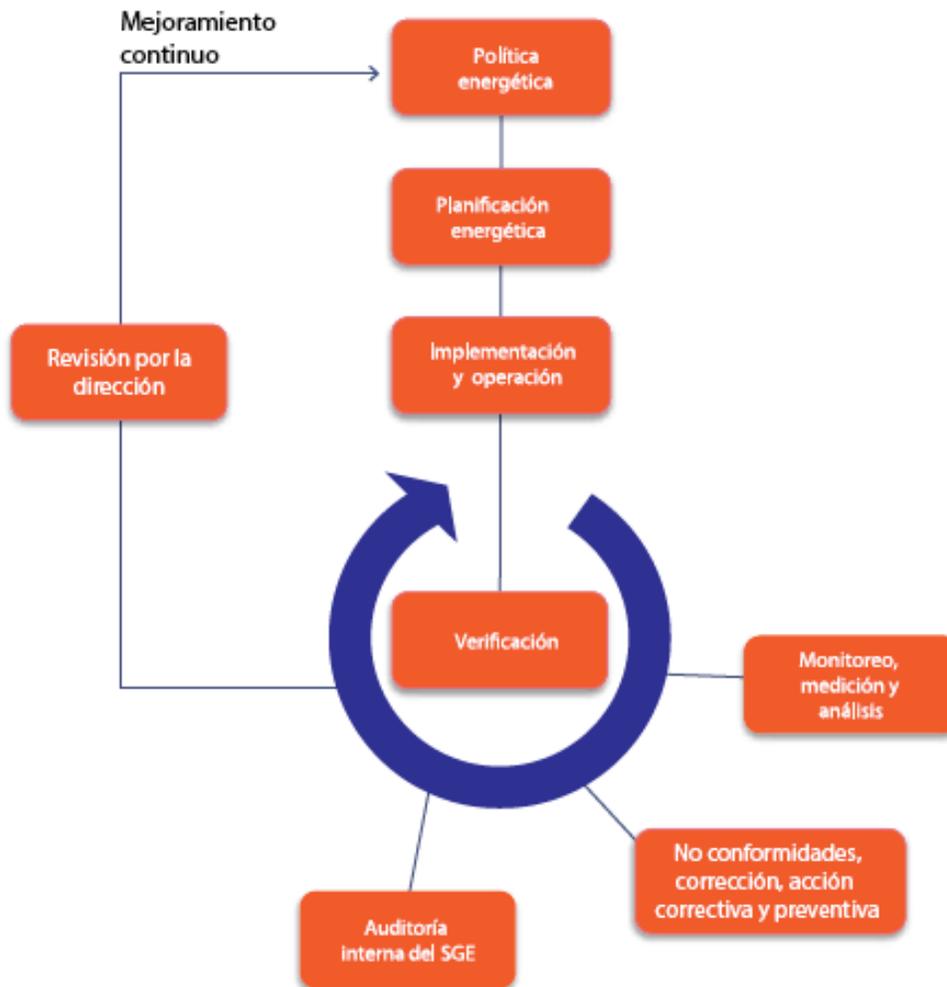


Figura 2.1. Metodología de implementación Sistema de Gestión Energética.

El primer elemento esencial de los requerimientos medulares corresponde a la planificación energética, como se explicó en el capítulo 1. Esta consiste en reunir la información de consumo de energía y analizarla, con el fin de identificar los usos significativos de la energía y cuáles son las variables que lo afectan. Del resultado de la planificación energética, se definen los controles operacionales y las actividades de monitoreo, medición y análisis de la organización. Por esta razón, representan la médula del sistema.

2.3. Planificación energética

El objetivo de esta etapa es comprender y analizar los usos, consumo y desempeño energético y las variables que lo impactan; de manera que permita identificar los requerimientos en materia de energía, que serán considerados al definir controles operacionales y metas de reducción de consumo. La *figura 2.2* muestra un esquema de proceso de actividades y etapas de la planificación energética a seguir en el estudio.

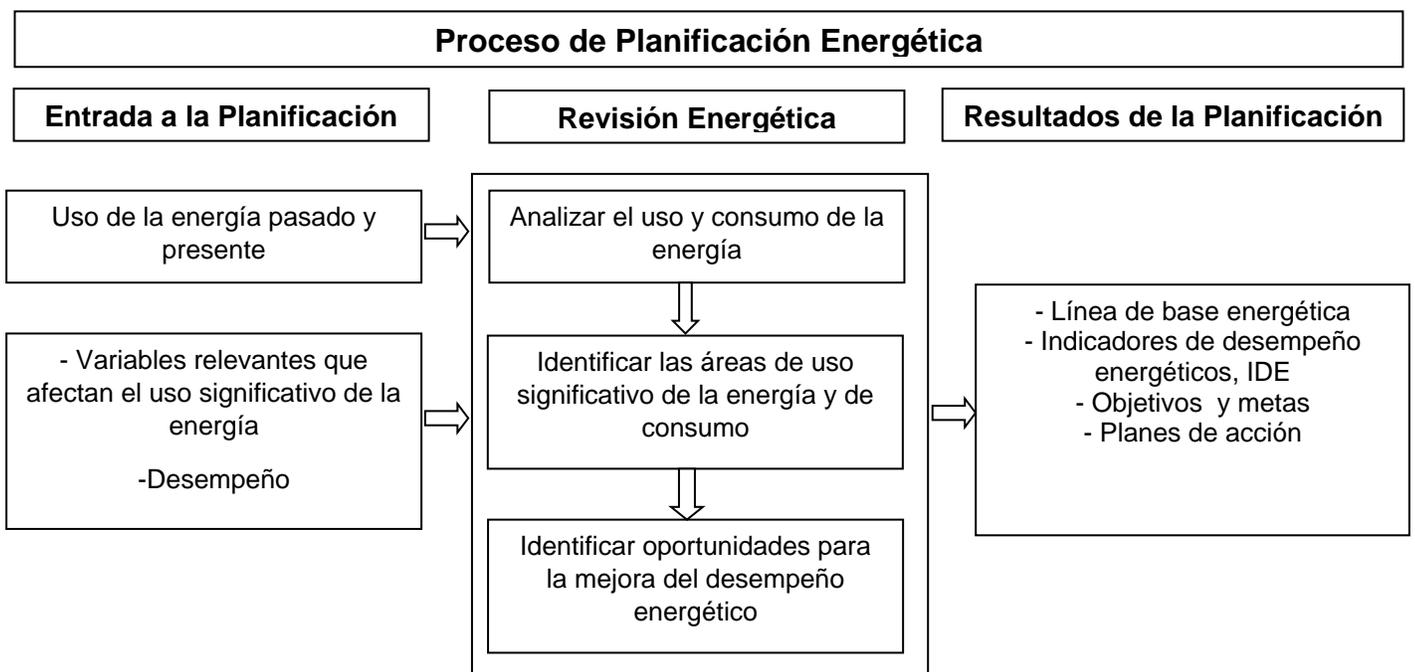


Figura 2.2. Esquema de proceso por etapas de la Planificación Energética.

El resultado de la revisión energética es información crítica para definir la línea base, los indicadores de desempeño energético, objetivos, metas y plan de acción.

Actividades de la planificación energética:

Uso de la energía: Forma o tipo de aplicación/uso de la energía, por ejemplo: proceso, iluminación, enfriamiento, calentamiento, ventilación, etc.

Consumo de energía: Cantidad de energía utilizada, puede ser expresada en unidades de masa, volumen o energía.

Eficiencia energética: Relación cuantitativa entre la salida o resultado de un proceso y la cantidad de energía empleada.

El indicador de eficiencia energética nos proporciona la medida de la cantidad de toneladas de combustible convencional consumido por cada tonelada de producción física que se realiza en un mismo periodo de tiempo. La unidad de medida es (t / t).

Los índices de consumo por cada portador energético, brindan la relación que existe entre el consumo absoluto de un portador determinado entre la producción física desarrollada en un periodo de tiempo dado.

2.3.1. Análisis de los usos y consumos de energía

Como se mencionó anteriormente, esta es la etapa más importante del trabajo puesto que el éxito del proyecto tendrá como primer antecedente el desarrollo de una ingeniería de campo confiable, que cualifique y cuantifique la distribución de la energía en la instalación.

Durante el desarrollo de esta etapa se recopiló la información histórica de la empresa y equipos, tal como, consumos de energía eléctrica, combustibles y agua. Así como de la producción global y por departamentos y tipos de productos. Esta evaluación permitirá deducir los desperdicios de energía y agua (fugas), uso ineficiente, tal como costumbres de operación o desconocimiento de una operación adecuada, equipos viejos, obsoletos y tecnología reemplazable, etc.

2.3.2. Identificación de los usos significativos de energía y estraficación

Los usos significativos de energía son aquellos que tienen un consumo sustancial de energía y/o que ofrecen un alto potencial de mejora en el desempeño, por lo que son los puntos en los que el análisis debe enfocar su gestión. Lo más común es identificar los usos significativos de energía, basado en aquellos que tienen la mayor porción del consumo de energía o bien, en términos de costo.

Para ello se hizo uso de la regla del 80/20 o **Principio de Pareto**, que es una metodología ampliamente aplicada como criterio de selección. En términos estadísticos, el Principio de Pareto, supone que existe un 20% de la población que ostenta el 80% de algo, mientras que un 80% de la población sólo ostenta el restante. Se aplicó como criterio de determinación de un uso significativo de la energía.

CUSUM Technic o diagrama dispersión: Se utilizó para analizar el consumo y desempeño energético de cada uno de los portadores energéticos seleccionado como significativos. Por medio de regresión lineal es posible obtener la ecuación de la recta que explica cuál es la influencia de la variable independiente en el consumo de energía. Variación simultánea del consumo energético con la producción realizada en el tiempo, para áreas y equipos, diagramas de E, P vs t. La forma de la ecuación de la recta es:

$$y = a + bx \quad (\text{ecu. 2.1})$$

Donde **a** es el consumo fijo del proceso y **x** es la variable independiente, con un factor multiplicador **b**.

El porcentaje de energía no asociada (E_{na}) se determina como:

$$E_{na} = \left(\frac{E_o}{E_m} \right) * 100; \% \quad (\text{ecu. 2.2})$$

Donde:

E_m – es el valor del consumo medio de energía determinado como el valor de la línea central del gráfico de control de consumo del portador energético correspondiente.

El valor del porcentaje de energía no asociada a la producción debe ser tan pequeño como sea posible.

Este valor varía con el tipo de producción y de proceso tecnológico utilizado para una producción dada. Constituye un parámetro a monitorear y controlar.

Indicador de consumo (consumo específico): IC permitió evaluar el desempeño de la gestión de la producción en las diferentes áreas y equipos claves de la empresa.

Para determinar la correlación, donde la expresión de la función $IC = f(x)$ se obtuvo de la siguiente forma:

$$y = bx + a$$

Donde: (y = Energía, b = Valor de la pendiente, x = Producción, a = Energía no asociada)

$$IC = y/x = b + a/x \quad (\text{ecu. 2.3})$$

$$IC = b + a/x \quad (\text{ecu. 2.4})$$

O

$$IC = \frac{\text{Consumo de energía [kWh]}}{\text{Producción [ton]}} \quad (\text{ecu. 2.5})$$

$$IC_{\text{Base}} = \frac{ax + b \text{ [kWh]}}{\text{Producción [ton]}} \quad (\text{ecu. 2.6})$$

Con este gráfico se pueden establecer sistemas de gestión energética y estandarizar procesos productivos a niveles de eficiencia energética superiores.

Línea base: permite determinar el comportamiento energético actual de la empresa y actúa como referencia en el momento de implementar el SGE, así como para determinar las oportunidades de mejora, cuantificando los impactos que esto traerá al desempeño energético. La línea de base es una representación del escenario más probable.

Línea meta: Se calculó a partir de los datos de mayor eficiencia, significan puntos (x,y) que se encuentran por debajo de la línea base.

El potencial de ahorro: se calcula a partir de la diferencia entre la energía no asociada a la producción de la línea promedio base y de la energía no asociada a la producción de la línea meta.

$$\text{Potencial de ahorro} = b(\text{base}) - b(\text{meta}) \quad (\text{ecu. 2.7})$$

Indicador de eficiencia base 100: es el indicador que se obtiene según la ecuación de tendencia de datos históricos y el indicador real para un punto de estudio se encuentran en el mismo valor de producción. También se puede afirmar que el indicador de eficiencia base 100 será igual a 100 por la energía nominal o teórica calculada para un determinado valor de producción sobre el consumo real de energía que se necesitó para esa producción:

$$\text{Indicador de eficiencia Base 100} = \frac{E_{\text{Tendencia}}}{E_{\text{medido}}} * 100 \quad (\text{ecu. 2.8})$$

$$E_{\text{tendencia}} = bx + a \quad (\text{ecu. 2.9})$$

Valor 100: El consumo real es igual al consumo alcanzable

Valor por encima de 100: El consumo real del periodo es inferior al consumo alcanzable

Valor por debajo de 100: El consumo real del periodo es superior al consumo alcanzable.

Indicador gráfico de tendencia o de sumas acumulativas (CUSUM): A partir del CUSUM se determinó cuantitativamente la magnitud de la energía que se ha dejado de consumir (consumo eficiente = ahorro) o se ha sobre-consumido (consumo ineficiente= pérdida) hasta el momento de su actualización.

$$CUSUM = ([E_{\text{real}} - E_{\text{Tendencia}}]_I + [E_{\text{real}} - E_{\text{tendencia}}]_{I-1}) \quad (\text{ecu. 2.10})$$

El gráfico de tendencias o sumas acumulativas se utiliza para monitorear la tendencia de las variaciones de los consumos energéticos con respecto a un periodo base de comparación dado y además para determinar cuantitativamente la magnitud de la energía que se ha dejado de consumir o se ha consumido en exceso con relación al comportamiento del periodo base hasta el momento de su actualización.

2.4. Determinación de la capacidad del gasificador a utilizar

Para la estimación de los principales valores del balance de masa y energía del gasificador, determinar la capacidad del mismo y el flujo necesario de gas y masa de material combustible a utilizar, se describen a continuación.

2.4.1. Composición elemental de la cáscara de arroz

Un aspecto importante en la utilización de la biomasa en procesos termoquímicos es la composición elemental de la biomasa. En el trabajo se utiliza los valores que se muestran en la *tabla 2.2*, reportados en la literatura. [26]

Tabla 2.1. *Análisis elemental de la cáscara de arroz.*

Componente	% masa
C	38,23
H	5,8
N	1,21
O	40,5
S	0,04
Cl	0,06
Humedad (%)	11,94
Cenizas (%)	14,22

Fuente:[26]

C. % masa de carbono en la biomasa

H. % masa de hidrógeno en la biomasa

N. % masa de nitrógeno en la biomasa

O. % masa de oxígeno en la biomasa

Cl. % masa de cloro en la biomasa

S. % masa de azufre en la biomasa

2.4.2. Estimación de los balances de masa y energía del gasificador

En la Empacadora “Roberto Quesada” existen tres equipos consumidores de vapor, con un consumo máximo de 810 kg/h. Se consideró un valor de flujo másico de vapor con un sobre diseño del 25%, dando una capacidad de generación de aproximadamente 1000 kg/h.

En la determinación de la cantidad de cáscara de arroz necesaria se empleó la siguiente fórmula reportada en la literatura especializada. [11, 27]

$$\eta = \frac{Q_v(H_v - h_{fe})}{Q_g * H_g} \quad (\text{ecu. 2.11})$$

$\eta \rightarrow$ Eficiencia de la caldera (%)

$Q_v \rightarrow$ Flujo de vapor (kg/h)

$H_v \rightarrow$ Entalpía del vapor (kJ/kg)

$h_{vfe} \rightarrow$ Entalpía del líquido (kJ/kg)

$Q_g \rightarrow$ Flujo de gas (kg/h)

$H_g \rightarrow$ Poder calórico del gas (kJ/kg)

El siguiente paso correspondió a estimar el flujo de gas y por ende la capacidad del gasificador, en correspondencia con la biomasa a utilizar.

$$\eta_{th} = \frac{(H_g * Q_g) + (Q_g * \rho_g * C_p * \Delta T)}{H_S * M_S} * 100 \quad (\text{ecu. 2.12})$$

$\eta_{th} \rightarrow$ Eficiencia térmica de gasificación (%)

$\rho_g \rightarrow$ densidad del gas (kg/m³)

$H_g \rightarrow$ Poder calórico del gas (kJ/kg)

$H_s \rightarrow$ Poder calórico del combustible (kJ/kg)

$M_s \rightarrow$ Flujo de combustible (kg/h)

$C_p \rightarrow$ Calor específico del gas (kJ/kg °K)

$\Delta T \rightarrow$ Diferencia de temp entre gas y el combustible (kJ/kg °K)

En los cálculos se asumen eficiencias en caldera y térmica en el gasificador de 0,75 y 0,85% respectivamente, en correspondencia con lo registrado en la literatura. [27, 28]

Para la estimación del aire necesario para la combustión de la biomasa, fue determinado por el siguiente modelo de correlación. [29]

$$\begin{aligned} Q_{aire\ mín} (Nm^3/kg) \\ = 8,8766(\%C) + 26,44333(\%H) + 3.3248(\%S) \\ - 3.3319(\%O) \quad (ecu. 2.13) \end{aligned}$$

$Q_{aire\ mín} \rightarrow$ flujo de aire mínimo en la combustión por kg de biomasa

Se empleo un factor estequiométrico de 0,3* $Q_{aire\ mín}$ para el cálculo del flujo de aire a usar en la gasificación. Dicho valor se encuentra entre 0,2 – 0,4.

De forma general el balance de masa en el gasificador se puede plantear por la siguiente expresión:

$$m_{bh} + m_{aire} = m_{gas} + m_r \quad (ecu. 2.14)$$

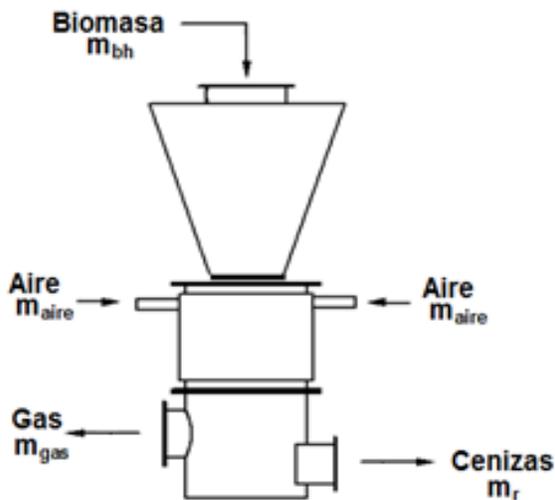


Figura 2.3. Balance de masa en el gasificador.

2.5. Herramientas utilizadas para el análisis de factibilidad económica preliminar en la inversión de un gasificador

En la realización de la evaluación económica se consideró como ingreso el dinero que se deja de emplear por concepción de combustible para la generación de vapor, al usar la cáscara de arroz. En la actualidad esta materia prima potencial es un residuo de la industria de procesamiento de arroz en la provincia.

En el estudio económico se utilizó la regla de los seis décimos reportada por Ulrich (1991). Además, se tuvo en cuenta la metodología tradicional propuesta por Peters y Timmerhaus (1991) para determinar el costo de operación del gasificador. Como referencia para obtener el costo total de inversión se consideró una oferta realizada por la Empresa india ANKUR “Modelo de Gasificador WBG – 200, Tipo de Gasificador Down Draft” con una capacidad de producción de gas de 450 Nm³/h. [30]

También se hizo uso de los indicadores dinámicos: valor actual neto (VAN) y tasa de retorno de la inversión (TIR) en la evaluación de la factibilidad económica y riesgo de la inversión, que consideran criterios de valor del dinero en el tiempo. [23]

A continuación se aborda de forma resumida las definiciones generales de los indicadores dinámicos:

El valor presente neto o actual (NPV o VAN) y la tasa de retorno de flujo de caja descontada (DCFR o TIR), son los indicadores dinámicos que con más fuerza utilizan los empresarios en la actualidad.

$$VPN = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{Fc_i}{(1+D)^i} \quad (\text{ecu.2.15})$$

$K_0 \Rightarrow$ Inversión o capital inicial.

$Fc_i \Rightarrow$ Flujo de caja en el año i .

$D \Rightarrow$ Tasa de descuento real utilizada.

$$Fc_i = (I_i - G_i - Dep) \left(1 - \frac{t}{100} \right) + Dep, (\text{ecu.2.16})$$

$I \Rightarrow$ Ingresos en el año i , \$

$G \Rightarrow$ Gastos en el año i , \$.

$t \Rightarrow$ Tasa de impuestos sobre ganancia, %.

$Dep \Rightarrow$ Depreciación del equipamiento o amortización de la inversión, \$.

Para la determinación del TIR se utiliza la siguiente:

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{Fc_i}{(1+TIR)^i}, (\text{ecu.2.17})$$

El **Período de Recuperación Descontado (PRD)** se define como el número de años que se requieren para recuperar una inversión a partir de los flujos netos de efectivo descontados.

Regla de los seis décimos para la estimación del costo total de inversión:

$$C_V = C_U \left(\frac{V}{U} \right)^{0,6} \quad (\text{ecu.2.18})$$

$C_V \Rightarrow$ Costo a saber.

$C_U \Rightarrow$ Costo de referencia.

$V \Rightarrow$ Capacidad de planta a evaluar.

$U \Rightarrow$ Capacidad de la planta de referencia.

En el estudio no se utilizó ningún índice correctivo (*Chemical Engineering Journal*) en la actualización del costo de inversión debido que el de referencia se determinó hace menos de un año y se despreció los efectos de inflación.

2.5.1. Costo Total de Producción del gasificador

La determinación del costo total de producción se basa en la metodología tradicional descrita por Peters & Timmerhaus (1991), se muestran a continuación y en la *tabla 2.2*.

$$CTP = C_{fab} + GG, (\text{ecu.2.19})$$

$$C_{fab} = CD + CF + Sup, (\text{ecu.2.20})$$

$CTP \Rightarrow$ Costo total de producción.

$C_{fab} \Rightarrow$ Costo de fabricación.

$GG \Rightarrow$ Gastos generales.

$CD \Rightarrow$ Costos directos.

$CF \Rightarrow$ Costos fijos.

$Sup \Rightarrow$ Supervisión.

Tabla 2.2. Costos totales de producción.

CTI (\$)	
Vida Util (años)	20
CFI	4,76 CA
CA	CTI/5,65
Costos directos	
Mano de obra	
Trabajadores por turnos	1
Turnos por días	1
Días que opera el gasificador	300
Salario básico operario, \$/mes	355,5
Mantenimiento	2% CTI
Requerimientos del Procesos	0,5% CTI
total	
Cargos fijos	
Depreciación	lineal
Tasas	2% CFI
Impuestos	1% CFI
Seguro	0,4% CFI
total	
Gastos Generales	
Administración	2% CTP
Distribución y venta	2% CTP
Investigación y desarrollo	2% CTP
total	
Costo Total	

Fuente: [31]

CTI ⇒ Costo total de inversión.

CFI ⇒ Costo fijo de inversión.

CA ⇒ Costo de adquisición.

Referente a los gastos generales solo se tuvo en cuenta los gastos por concepto de investigación y desarrollo, los otros dos no son aplicables al caso en estudio.

2.5.2. Depreciación

La depreciación puede ser una función lineal: Donde se considera que la pérdida de valor que sufre un equipo o planta es constante en el tiempo y está dada por la siguiente expresión Blank (1999):

$$DEP = \frac{C_o - C_f}{Vida_{util}}, \text{ (ecu.2.21)}$$

En aplicaciones industriales se emplea un valor residual nulo al concluir el periodo útil de la instalación por lo que dicho criterio se tomó en el presente trabajo considerando un periodo de vida útil de 20 años.

Conclusiones parciales

1. Se precisaron los materiales y métodos empleados en el estudio, que permitieron obtener los resultados de la investigación realizada.
2. Se propone la metodología de implementación Sistema de Gestión Energética como modelo a usar en la gestión energética en la Empacadora “Roberto Quesada” enfocándose en la etapa de planeación energética.
3. Se seleccionan las expresiones matemáticas para estimar los balances de masa y energía en proceso de gasificación mediante el uso de la cáscara de arroz como material combustible.
4. Los indicadores financieros Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno y Periodo de Recuperación Descontado fueron seleccionados para evaluar la factibilidad económica del empleo de la gasificación de la cáscara de arroz como fuente renovable de energía.

3. Capítulo 3. Análisis y discusión de los resultados

3.1. Introducción

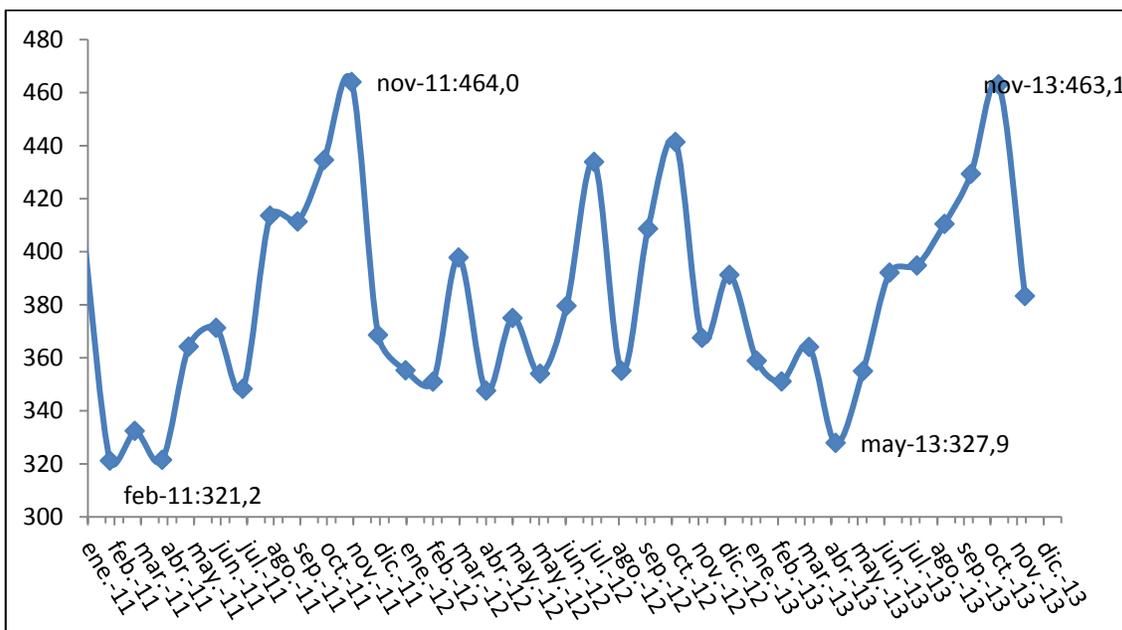
En el capítulo se realiza un análisis sobre los dos principales portadores energéticos, la electricidad y el consumo de vapor. Para el primero se realiza su estratificación con el objetivo de identificar las principales causas que lo provocan. Se realiza además, la correlación de consumo de electricidad vs. Toneladas producida y se definen los indicadores seleccionados en el capítulo 2.

En cuanto al consumo de vapor se hace un análisis de la situación actual y se propone el uso de un gasificador como oportunidad de ahorro. Por último, un análisis preliminar de la evaluación económica de la inversión de dicho proyecto.

3.2. Diagnóstico de la situación energética actual e histórica de la empresa

La Empacadora “Roberto Quesada” perteneciente a la Empresa Cárnica Sancti Spíritus, se encuentra situada en la carretera a Zaza del Medio km. 2 ½, tiene como producciones fundamentales los destinados a la Canasta Básica y la Merienda Escolar entre cuyos productos se encuentran los embutidos, el picadillo extendido, grasa animal, las masas de hamburguesa y para croqueta.

La *fig. 3.1* muestra la producción total de la empresa para el periodo en estudio. En dicho periodo se sostiene un valor promedio de producción de aproximadamente 382 ton mensuales, alcanzando sus valores máximos en el mes de noviembre en el año 2011 y 2013, mientras que los mínimos de producción corresponden a los meses de febrero y mayo, de los años antes mencionados por su orden.

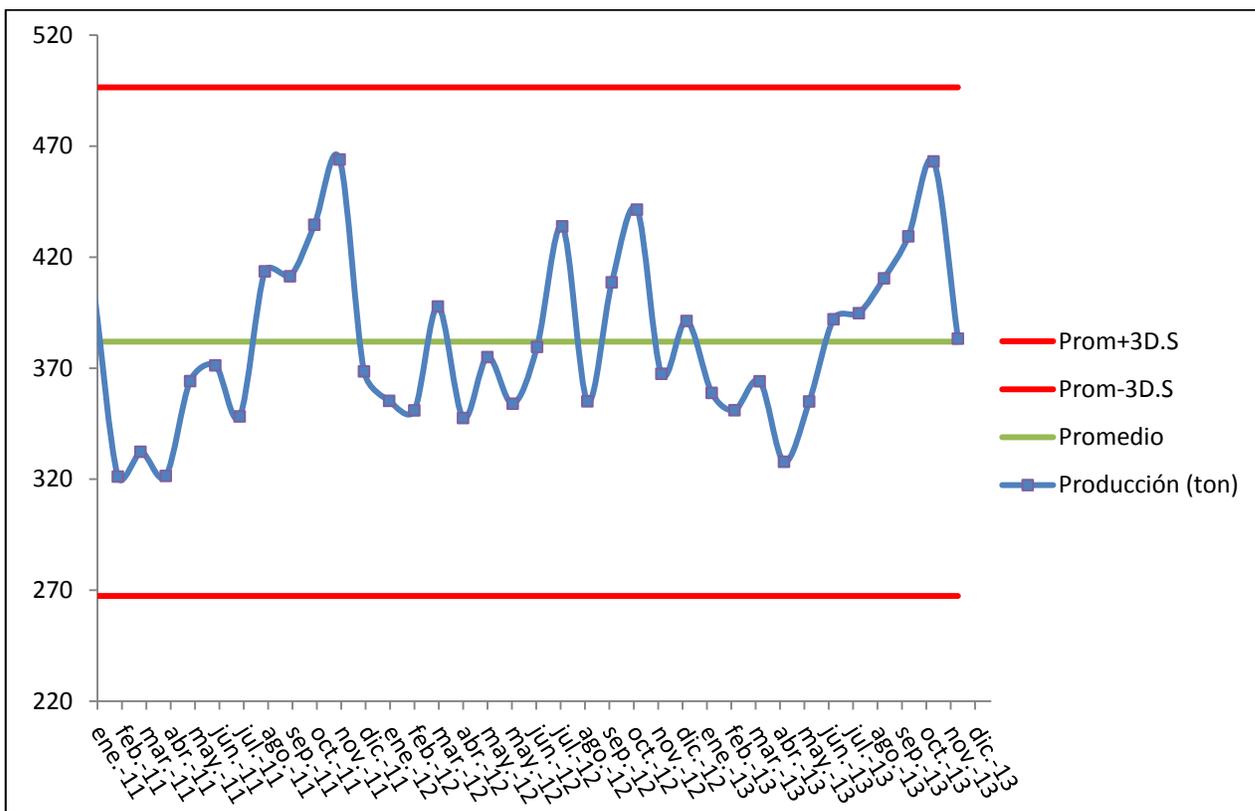


Fuente: autor

Figura 3.1. Producción física en ton 2011-2013. Empacadora “Roberto Quesada”.

Si se compara los datos obtenidos para el periodo en análisis con el estudio realizado por Gutiérrez (2010), el cual tuvo en cuenta los años 2006 al 2008 en su implementación parcial de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía. Se aprecia un incremento en la producción total, con una diferencia de 50,2 ton en sus respectivas producciones record. Sin embargo, los valores máximos de producción se reportan para los meses de diciembre (2006-2008) y noviembre (2011-2013).

En la *fig. 3.2* se puede observar el gráfico de control de la producción total para los años 2010 al 2013. El cual muestra el comportamiento de los niveles de producción, aunque se encuentran dentro de los niveles de control inferior y superior establecidos, existe cierta inestabilidad en la producción, con una desviación estándar de 38 ton mensuales. Esta inestabilidad en la producción se debe en gran medida a la designación de materia prima a la empacadora por parte de la Empresa Cárnica de Sancti Spiritus.



Fuente: autor

Figura 3.2. Gráfico de control de la producción total en el periodo 2010-2013.

Empacadora “Roberto Quesada”.

La producción abarca tres renglones fundamentales que son:

- Carne en conserva
- Croqueta
- Grasa animal

3.3. Situación de la gestión energética en la empresa

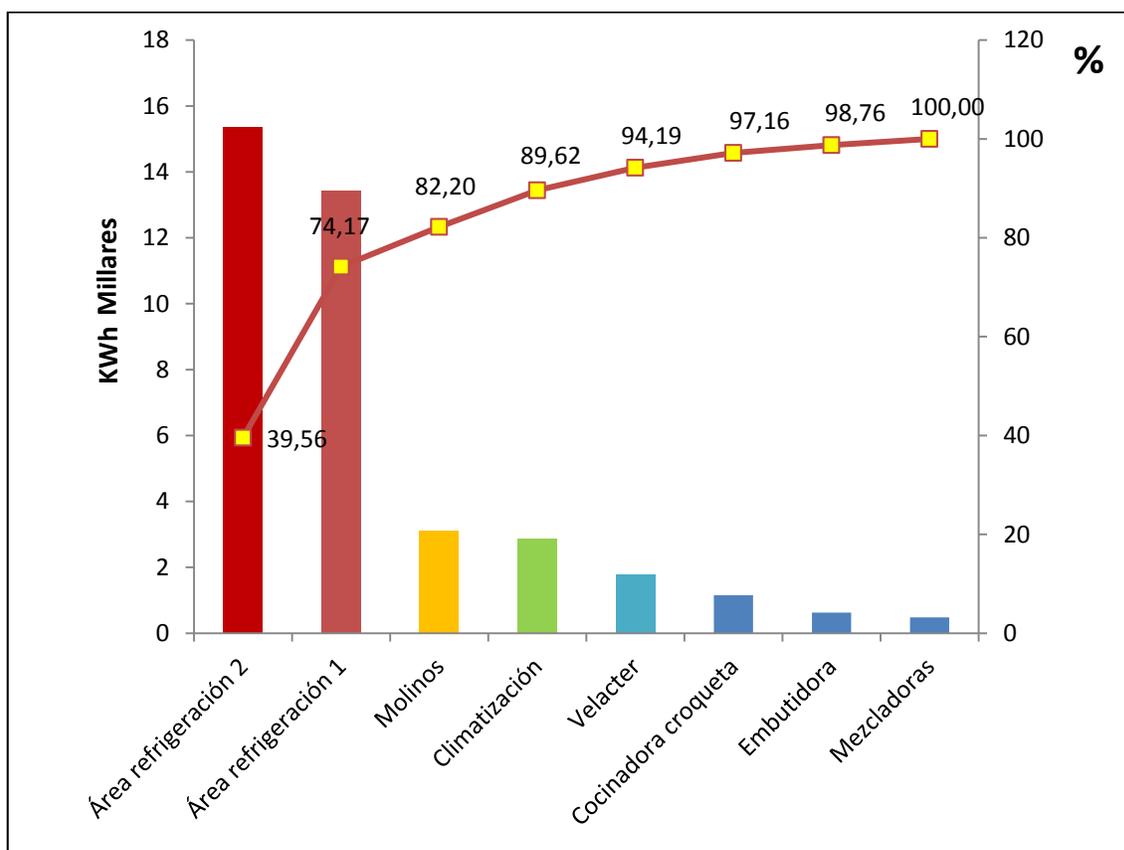
El estudio realizado en el 2010 en la Empresa Cárnica de Sancti Spiritus, basado en la Implementación parcial de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía. Detecto que la electricidad era el portador energético de mayor consumo

y entre los nueve establecimientos analizados, resulto ser La *Empacadora “Roberto Quesada”*, la de mayor, con más de 30% del total [32].

3.4. Análisis de la energía eléctrica Empacadora “Roberto Quesada”

La *Empacadora “Roberto Quesada”*, tiene como su mayor portador energético a consumir la electricidad, la cual se usa en las áreas de refrigeración, molienda de la materia y adecuación de la materia prima, climatización, veláter, cocinadora de croquetas, embutidora y en las mezcladoras, todas identificadas sus consumos nominales.

El análisis de la estratificación de los consumos de energía eléctrica, el cual se muestra en la *fig.3.3* en *Diagrama de Pareto*, arrojó como principales consumidores de la empresa, en primer lugar: el área de refrigeración 2 y en segundo lugar: el área de refrigeración 1, para un total entre ambas de aproximadamente 74%. Existe una marcada diferencia en cuanto al registro de consumo de estas, con respecto a los molinos que siguen en tercer orden con un 8,03% del total.



Fuente: autor

Figura 3.3. Estructura de consumo de energía eléctrica. Empacadora “Roberto Quesada”.

Como la empresa recibe por asignación los insumos y materias primas de la Empresa Cárnica de Sancti Spiritus, a la cual pertenece, en la misma no existen datos para hacer un análisis económico. Para tener una idea de los costos referentes a la electricidad se calcularon los pesos por toneladas producida, para los principales equipos consumidores y para ello se usó un factor de conversión de energía eléctrica a toneladas de combustible convencional de 0,356297 y un costo de 602,63 \$ por toneladas de combustible [32].

La tabla 3.1 muestra los principales índices de consumos por equipos de mayor consumo:

E.E: energía eléctrica

tcc/ton: toneladas de combustible convencional por toneladas

\$/ton: pesos por toneladas

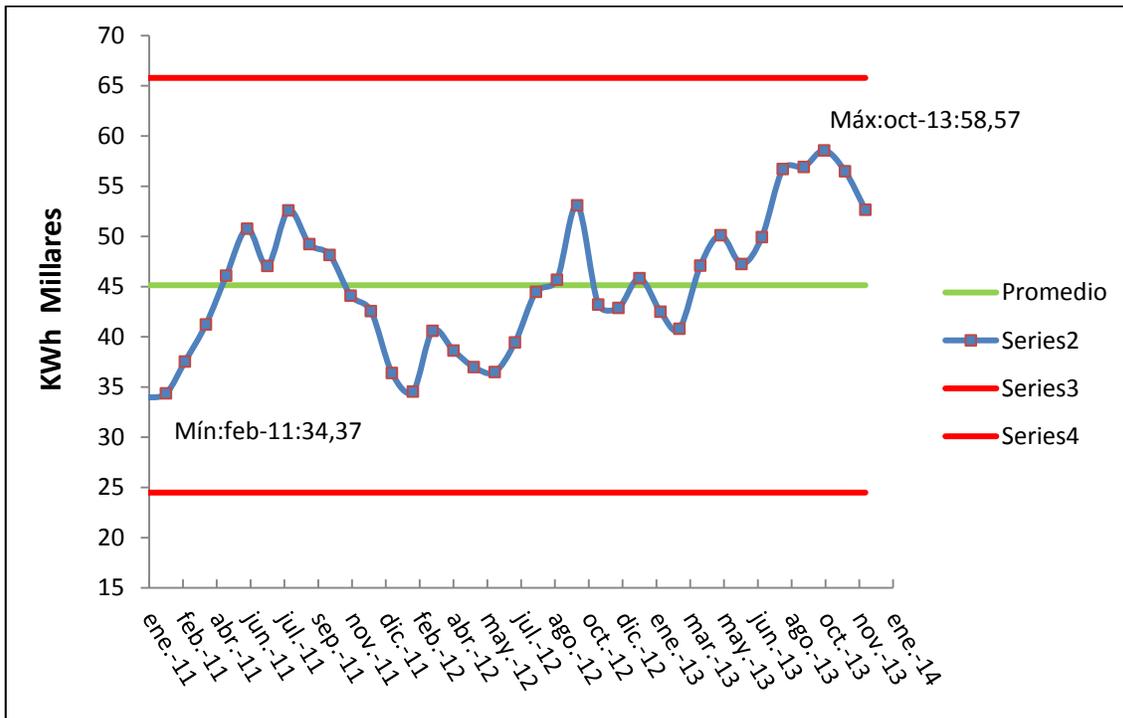
Tabla 3.1. Estratificación de los principales índices de consumos por equipos de mayor consumo.

Equipo o área consumidora	E.E(kWh/ton)	tcc/ton	\$/ton
Área de Refrigeración # 1	89,80	32,00	19281,43
Área de Refrigeración # 2	59,40	21,16	12754,09
Cocinadora Croquetas	22,40	7,98	4809,62
Molino de Carne	15,40	5,49	3306,62
Veláter	14,20	5,06	3048,96
Embutidora	9,90	3,53	2125,68
Mezcladora	6,70	2,39	1438,59
Total	217,80	77,60	46764,98

Fuente: autor

Como era de esperar los mayores valores en los índices se obtuvieron en las áreas de refrigeración, para un índice total en ambas de 32 035 \$/ton, por concepto de combustible por consumo de electricidad.

En el gráfico de la *fig. 3.4* se puede observar el comportamiento del consumo de energía eléctrica en el periodo analizado y como todos los valores se encuentra dentro del rango de control, establecido por los límites superior e inferior. Sin embargo, existe una cierta inestabilidad en sus valores.

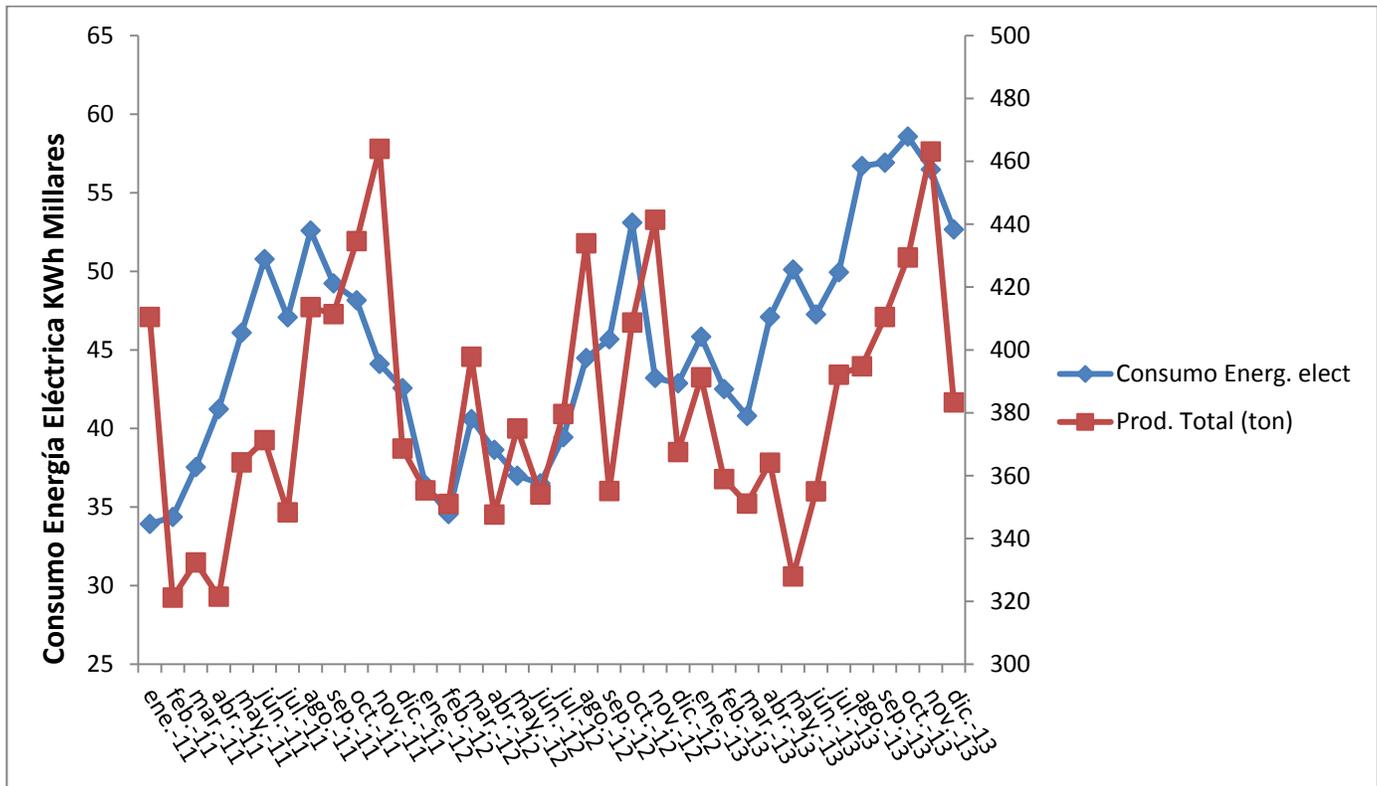


Fuente: autor

Figura 3.4. Gráfico de control de consumo mensual de energía eléctrica 2011-2013. Empacadora “Roberto Quesada”.

Los valores mínimo y máximo de consumo de energía eléctrica reportado en el 2011-2013 (34 371 y 58 572 KWh) respectivamente, son mayores que los valores obtenidos para el periodo 2006-2008 (26 110 y 45 242 KWh) [32]. Este incremento, está en correspondencia con el aumento en los niveles de producción total de la empresa.

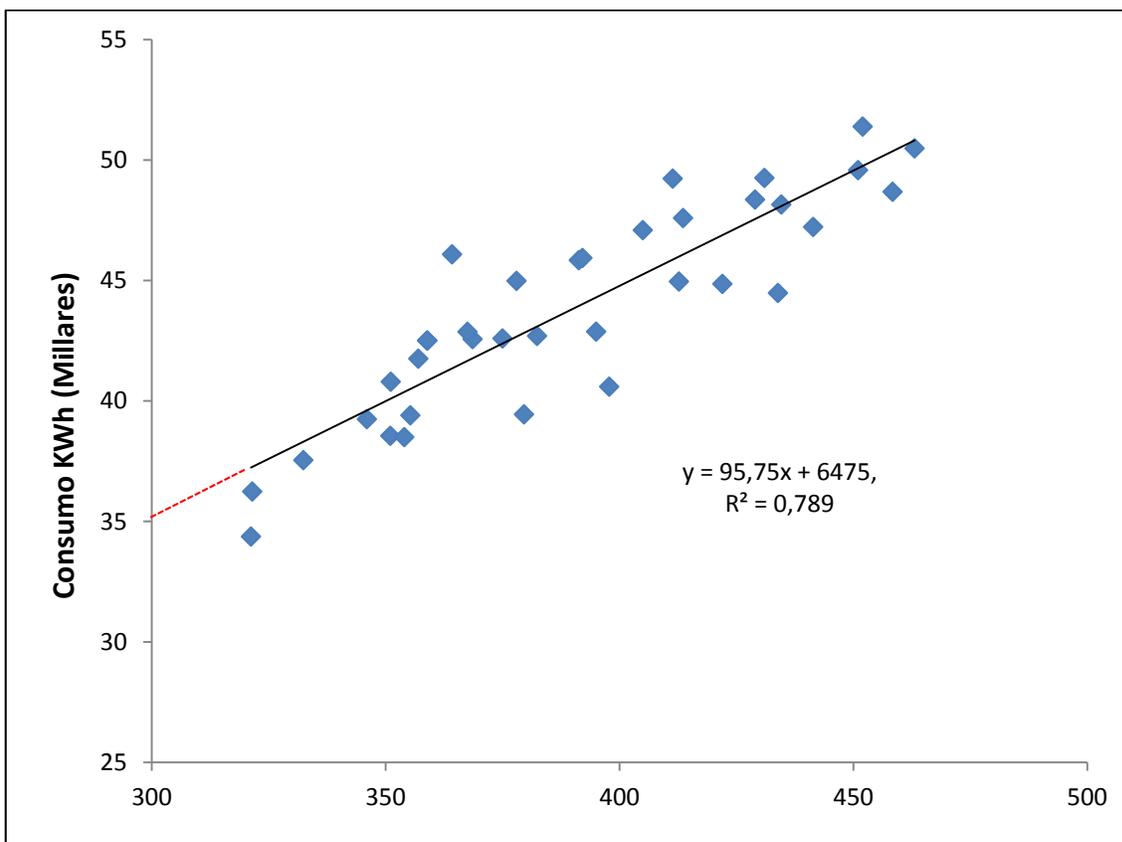
En el siguiente gráfico se puede observa en sentido general que existe correspondencia entre el consumo de energía eléctrica y la producción física realizada en el periodo 2011-2013 aunque se evidencian algunos meses con un comportamiento contradictorio. Ver fig. 3.5.



Fuente: autor

Figura 3.5. Consumo mensual de producción y energía eléctrica 2011-2013. Empacadora “Roberto Quesada”.

En siguiente diagrama se observa una tendencia a la correlación lineal entre el consumo de electricidad en KWh y la producción realizada en toneladas, lo corrobora que puede ser utilizado este índice de consumo global (KWh/ton) como indicador de eficiencia energética en el uso de la electricidad.



Fuente: autor

Figura 3.6. Consumo de energía eléctrica vs. producción 2011-2013. Empacadora “Roberto Quesada”.

En el diagrama se observa una tendencia a la correlación lineal entre el consumo de electricidad en KWh y la producción realizada en toneladas, que permite comenzar a utilizar el índice de consumo global (KWh/ton) como indicador de eficiencia energética en la gestión del uso de la electricidad.

La ecuación que caracterizó la relación entre el consumo de energía eléctrica y producción en el periodo 2011-2013 con un coeficiente $R^2 = 0,789$; fue la siguiente:

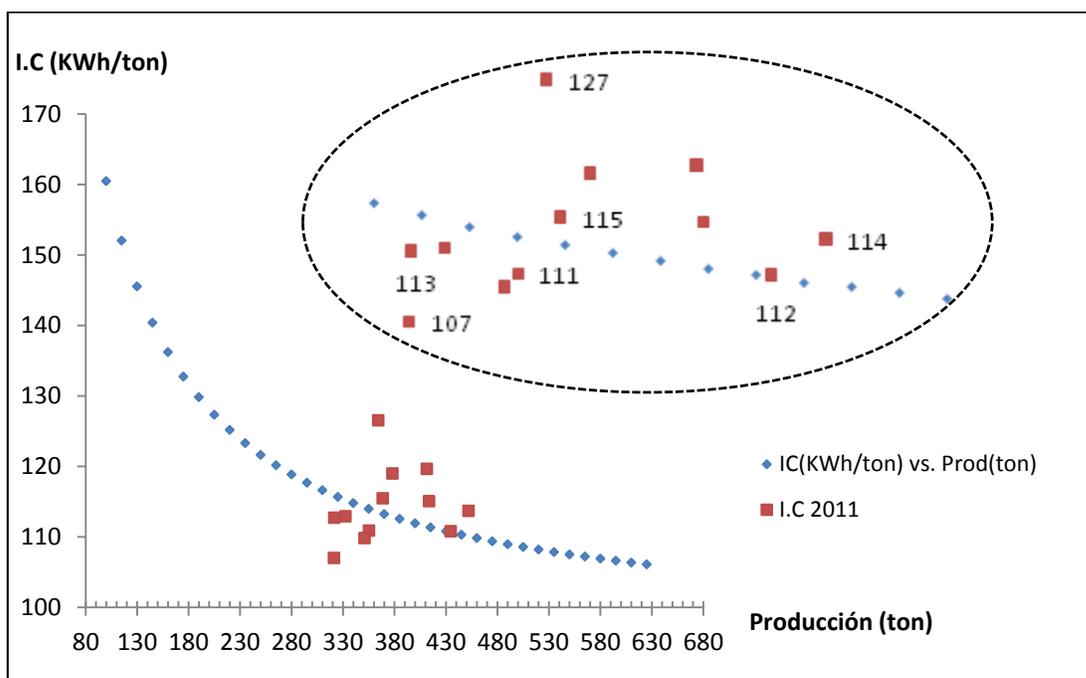
$$\text{Electricidad} = 95,75 \left(\frac{\text{KWh}}{\text{ton}} \right) \text{producción}(\text{ton}) + 6475(\text{Kwh}) = \text{KWh} \quad (\text{ec. 3.1})$$

La literatura plantea que puede considerado adecuado, a los efectos de estos análisis energéticos, valores del coeficiente de correlación entre Energía y Producción $R^2 \geq 0,75$.

Es notable señalar que el coeficiente de correlación es ligeramente mayor que el de estudios realizados anteriormente para la misma empresa en otros periodos.[32]

El consumo fijo de electricidad no asociado a la producción en el periodo en el periodo de estudio tiene un valor como promedio 6475 kWh/mes lo que representa el 14.34% del consumo medio de la energía eléctrica. Esto está asociado fundamentalmente a la climatización de oficinas y al alumbrado exterior.

Otro indicador que se tuvo en cuenta fue el índice de consumo (I.C) calculado a partir de la ecuación 3.1; dividido entre la producción, como fue descrito en el capítulo II. La fig. 3.7 muestra que existe una correlación negativa entre el I.C y las toneladas producidas. (*Ver anexo 2. Gráficos para los años 2012 y 2013*).



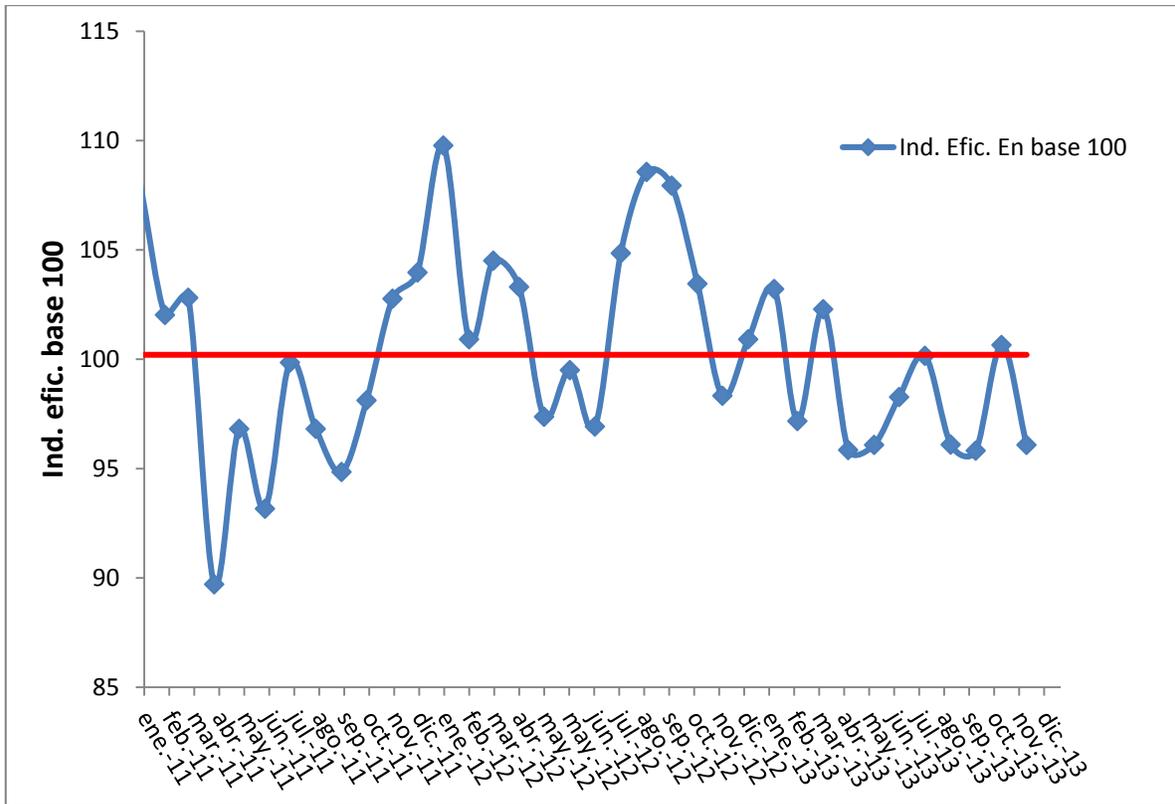
Fuente: autor

Figura 3.7. Índice de consumo de energía eléctrica vs. producción 2011. Empacadora “Roberto Quesada”.

Los cálculos del índice de consumo evidencia que valores mayores de 112 son superiores a la tendencia media calculada y por tanto, meses menos eficientes, mientras que valores menores de 112 son los meses que se pueden considerar de mayor eficiencia.

Además, la tendencia descrita en la figura 3.7 evidencia que a bajos niveles de producción corresponde índices de consumos mayores. Esto puede explicar los resultados obtenidos en la fig. 3.5 “Consumo mensual de producción y energía eléctrica 2011-2013”, donde meses de bajo niveles de producción, correspondía a elevados consumos de energía eléctrica.

Otro indicador de eficiencia sugerido por la literatura especializada para monitorear la gestión de la eficiencia energética es el indicador de eficiencia base 100 (IndEb100), ver capítulo II.



Fuente: autor

Figura 3.8. Índice de eficiencia en base 100 de energía eléctrica 2011-2013. Empacadora “Roberto Quesada”.

La fig. 3.8. que se muestra a continuación presenta el gráfico IndEb100 vs.t en el transcurso del análisis. El comportamiento descrito es de fluctuaciones, se observan valores por encima de la línea (valor igual a 100), donde el consumo real del periodo es inferior al consumo alcanzable, un total de 17 meses tienen tal comportamiento, mientras que 18 meses se muestra con valores por debajo de

100 y por ende el consumo real del periodo es superior al consumo alcanzable y menos eficiente en el aprovechamiento de los portadores energéticos.

Por su parte, mediante el método de sumas acumulativas, se analizó la tendencia en el consumo de electricidad del año 2012 con respecto al comportamiento promedio con el año 2011, para comparar los consumos para el mismo nivel de producción mostrados en la Tabla 3.2 y la *fig. 3.9*. Para el cálculo se empleó la ec. 3.1.

Tabla 3.2. *Tendencia en el consumo de Energía Eléctrica en el año 2012 comparado con el año 2011.*

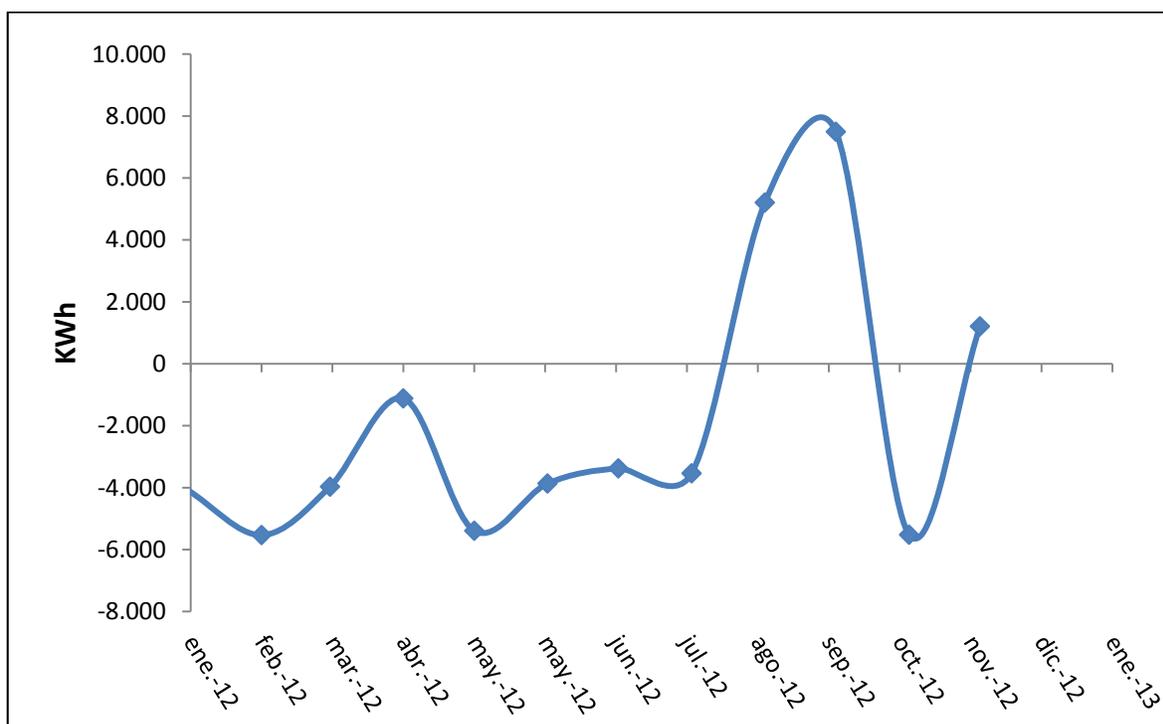
Mes	KWh real	Producción, ton	KWh calculado	Diferencia	CUMSUM
Ene-12	36403	355,3	40494,975	-4091,975	-4091,975
Feb-12	34552	351	40083,25	-5531,25	-9623,225
Mar-12	40596	397,8	44564,35	-3968,35	-
Abr-12	38640	347,6	39757,7	-1117,7	13591,575
May-12	36992	375	42381,25	-5389,25	-
Jun-12	36502	354	40370,5	-3868,5	20098,525
Jul-12	39442	379,6	42821,7	-3379,7	-
Ago-12	44486	433,9	48020,925	-3534,925	27346,725
Sep-12	45683	355,1	40475,825	5207,175	-
Oct-12	53102	408,7	45608,025	7493,975	25674,475
Nov-	43221	441,4	48739,05	-5518,05	-18180,5
					-23698,55

12

Dic-12	42873	367,5	41663,125	1209,875	- 22488,675
---------------	-------	-------	-----------	----------	----------------

Fuente: autor

Los datos de la tabla 3.2 y la fig. 3.9 mediante el método de sumas acumulativas permitieron monitorear la tendencia de la empresa en cuanto a la variación de sus consumos energéticos, con respecto a un período base de comparación dado. Se determinó que de forma general el año 2012 fue un año más eficiente con respecto al 2011, se logró cuantificar un ahorro total de 22488 KWh. Solo tres meses del año (septiembre, octubre y diciembre) la diferencia fue de valor positivo, lo indica menor eficiencia en el consumo de la energía eléctrica, en comparación con el año anterior, los restantes meses se consideran más eficientes en la gestión de la energía eléctrica.



Fuente: autor

Figura 3.8. Tendencia del consumo de energía eléctrica año 2012. Empacadora “Roberto Quesada”.

3.5 Análisis del consumo de vapor en la Empacadora “Roberto Quesada”

3.5.1. Estado actual

En la actualidad la Empacadora “Roberto Quesada” no cuenta con un sistema de generación de vapor, lo cual ha incidido negativamente en los niveles de producción. Al depender de la generación de vapor de la Pasteurizadora perteneciente a la Empresa de Productos Lácteos “Río Zaza”, (Ver Anexo 3) y no poseer un control de dicho proceso influye directamente en la calidad de los productos que necesitan de este portador energético, como evidencia el estudio realizado por Muñoz Gutiérrez A. R (2010). En la actualidad la empresa se encuentra en proceso de inversión e instalación de un sistema de generación de vapor propio.

La Empacadora “Roberto Quesada” cuenta con tres tachos consumidores de vapor, con una presión de trabajo de 6 kgf/cm^2 y un consumo de vapor por tacho de 270 kg/hora . La máxima demanda de consumo de vapor es de $810 \text{ kg vapor/hora}$.

3.5.2. Propuesta para la utilización de un sistema de gasificación en la generación de vapor en la Empacadora “Roberto Quesada”

En la situación energética actual, la búsqueda de sustitución de importaciones e implementación de fuentes renovables de energía, constituye unas de las prioridades de la política energética del país. En correspondencia se realizó un análisis preliminar para asentar las bases en una futura implementación de un sistema de gasificación, que utilice cáscara de arroz como principal material combustible en sustitución de combustible fósil, como una oportunidad de ahorro.

En la tabla 3.3 y 3.4 se muestran los valores utilizados y determinados por las ecuaciones consideradas 3.3 y 3.4. En las cuales se determina que para las condiciones fijadas es necesario 577 kg/h de flujo de gas en caldera para la generación de 1000 kg/h de vapor. Lo cual conlleva un flujo másico a alimentar al gasificador de aproximadamente 238 kg/h de cáscara de arroz como material combustible para un índice de $2,13 \text{ (Nm}^3\text{/h) gas}/(\text{Kg/h) cáscara de arroz}$, el cual se encuentra en el rango reportado en la literatura.

Tabla 3.3. Valores estimado del balance de masa y energía en la caldera que utiliza gas como combustible por la ecu.2.11.

Q_v(kg/h)	1000,00
H_v(kJ/kg)	2768,75
h_{fe}(Kj/kg)	717,75
Q_g(kg/h)	577,63
H_{gas}(kJ/kg)	4734,29
n(%)	0,75

Fuente: autor

Tabla 3.4. Valores estimado del balance de masa y energía en la caldera que utiliza gas como combustible por la ecu.2.12.

nth efic. Gasif (60-90%)	85,00
H_g (kJ/m³)	5389,06
Q_g (m³/h)	507,06
H_s(kJ/Kg)	15412,00
M_s(kg/h)	238,16
ρ_{gas}(kg/m³)	1,14
Cp_{gas}(kJ/kgK)	1,18
ΔT(°K)	570,00

Fuente: autor

La tabla 3.5 muestra los valores del balance de masa para el gasificador para las condiciones de operación consideradas y en correspondencia con el análisis elemental de la biomasa, en este caso de estudio la cáscara de arroz.

Tabla 3.5. Valores estimado del balance de masa en el gasificador según la ecu.2.14.

Entrada		Salida	
kg/h			
Q _s	Q _{aire gas}	Q _{gas}	Q _r
238,0	337,0	577,0	33,9

Fuente: autor

3.5.3. Análisis económico preliminar para el posible empleo de un gasificador acoplado al sistema de generación de vapor como oportunidad de ahorro energético

Como se describe en el capítulo II en el análisis económico realizado se tuvo en cuenta los indicadores dinámicos financieros, como el VAN y el TIR. Para ello se tienen en cuenta algunas consideraciones:

- Se toma como referencia como costo total de inversión, la oferta realizada por la empresa india ANKUR.
- Se considera ingreso el gasto que se dejaría de emplear en la adquisición de combustible fósil por usar la cáscara de arroz como material combustible. En la actualidad un residuo de la industria azucarera.
- El precio de la tonelada de gas oil se consideró igual 605,88 \$/ton.
- Un operador y un turno de trabajo con un salario de 355,5 pesos mensuales.

Como ya se explico en el capítulo II en la estimación de los otros costos se basó en la metodología propuesta por Peters y Timmerhaus (1999) y el uso de la regla de los seis décimos.

La tabla 3.6 se pueden apreciar los costos estimados para la posible inversión de un gasificador que utilice cáscara de arroz como material combustible en la generación de vapor.

El valor del costo total de inversión estimado por la regla de los seis décimos es de 220 662 USD aproximadamente y costo total de producción de 16 432 pesos.

Tabla 3.6. Costos estimados para la inversión del gasificador.

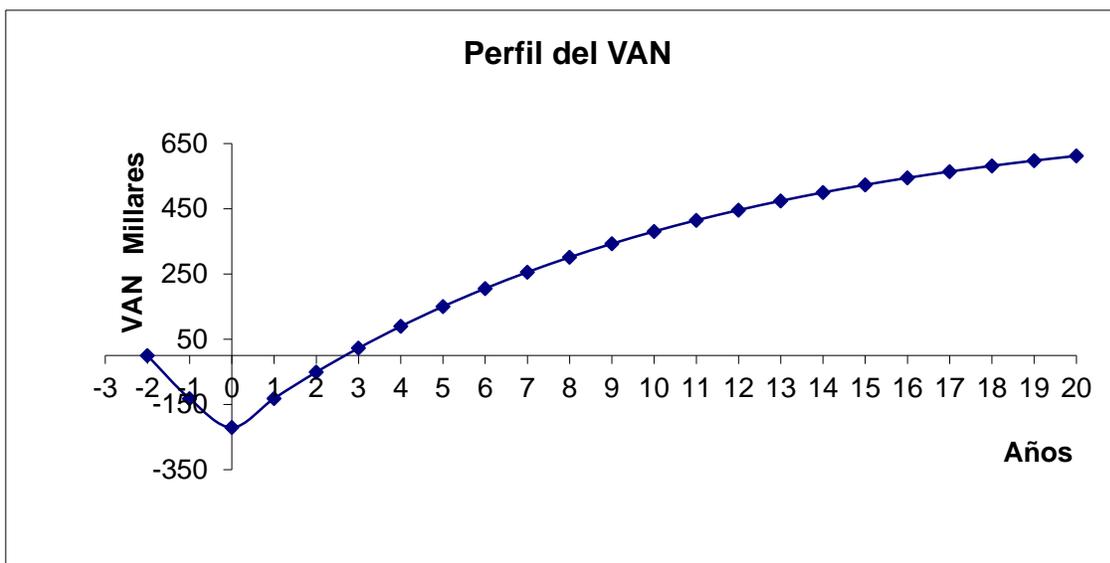
Gasificador 507 Nm³/h		
CTI (\$)		220662,16
Vida Útil (años)	20	
CFI	4,76 CA	185903,0
CA	CTI/5,65	39055,2
Costos directos.		
Mano de obra		4266,9
Trabajadores por turnos	1	
Turnos por días	1	
Días que opera el gasificador	365	
Salario básico operario, \$/mes	355,5	
Mantenimiento	2% CTI	4413,2
Requerimientos del Procesos	0,5% CTI	1103,3
total		9783,5
Cargos fijos		
Depreciación	lineal	1952,8
Tasas	2% CFI	3718,1
Impuestos	1%CFI	1859,0
Seguro	0,4%CFI	743,6
total		6320,7
Gastos Generales		
Administración	2% CTP	0,0
Distribución y venta	2% CTP	0,0

Investigación y desarrollo	2% CTP	328,7
total		328,7
Costo Total Producción		16432,8

Fuente: autor

El valor del VAN resulto positivo, siendo este de 612 077,23 pesos y una tasa de retorno de la inversión igual a 31%, mayor al 10% fijada en el estudio.

La figura 3.9. muestra el perfil del VAN para un periodo de 20 años. Además se puede apreciar el valor del periodo de recuperación de 2,6 años favorable por ser inferior de 5 años, valor que plantea como límite la literatura.



Fuente: autor

Figura 3.9. Perfil de VAN para la inversión de un gasificador de capacidad de 507 Nm³/h.

Conclusiones generales

1. Mediante la revisión energética realizada para el periodo seleccionado, en la Empresa Empacadora “Roberto Quesada”, se demostró que existe correlación entre el principal portador energético, la electricidad y los niveles de producción. Identificando las áreas de refrigeración 1 y 2 como las principales, con un 74% de consumo total. Además, se define el valor de 112 (kWh/ton) como índice de consumo e indicador de eficiencia en la empresa.
2. Como oportunidad de sustitución de combustibles fósiles, se determinó una capacidad de 507 m³/h de gas a producir utilizando cáscara de arroz como material combustible para suministrar la energía necesaria en el sistema de generación de vapor a instalar en la empacadora.
3. El análisis preliminar de factibilidad económica en el proceso de inversión del gasificador para el sistema de generación de vapor, demostró un VAN positivo mayor de 600 mil pesos, una tasa de retorno de la inversión de 31% y un periodo de recuperación de la inversión de aproximadamente 2,6 años, lo que evidenció su factibilidad económica.

Recomendaciones

1. Implementar en su totalidad la ISO 50001 como sistema de Gestión Energética en la Empresa “Roberto Quesada”.
2. Profundizar en el diseño y selección en la propuesta del gasificador y evaluar otras biomásas como fuentes de combustibles renovables.
3. Presentar y argumentar la propuesta como resultado de este estudio, al organismo superior para su aprobación y ejecución.

Bibliografía

1. Turrini, E., *La Via del Sole*. Edizioni Cultura della Pace ed. 2006, Cuba: Científico Técnica Cuba Solar.
2. Outlook, I.E. 2005.
3. Ruz, F.C. *En el ahorro tenemos nuestras mayores posibilidades inmediatas. Fragmento del discurso del I Forum de Energía 1984* [cited 2013 15 de junio]; Available from: <http://granma.co.cu>
4. Autores, C.d., *GESTIÓN Y ECONOMÍA ENERGÉTICA*, A.E.B.N.y.J.P.M. Yanes, Editor. 2006, Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos.: Cienfuegos.
5. Saidur, R., et al., *A review on biomass as a fuel for boilers*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011. **15**(5): p. 2262-2289.
6. Agency, I.E., *World Energy Outlook*. 2012.
7. administration, E.I. *International Energy outlook 2013*. . 2013 [cited 2013 13/11/2013]; Available from: <http://www.eia.gov/oiaf/aeo/tablebrowser/#release=AEO2013&subject=0-AEO2013&table=1-AEO2013®ion=0-0&cases=full2012full-d020112c>.
8. Ramírez, G.H. and R.M. Laurencio, *DIAGNÓSTICO Y AUDITORÍA ENERGÉTICA. Herramientas Básicas y Metodología para realizar Diagnóstico y Auditoría Energética* 2011.
9. *Manual de Gestión de la Energía*. , T.C.C. Company, Editor. 1980.
10. Gil, B.M.-T., *Ahorro y gestión eficiente de la energía. Guía para la intervención de los trabajadores*. 2010, Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS).
11. Madrid, C.E.d. (2013) *Guía para la implantación del Sistema de Gestión Energética en pymes industriales en la ciudad de Madrid*.
12. ARIAS, A.G. and M.F.S. MERA, *IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE USO EFICIENTE DE ENERGÍA EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE.*, in *FACULTAD DE INGENIERÍA, DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA*. 2012, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE: SANTIAGO DE CALI.
13. Sánchez, E.B. (2012) *Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía (SGE) Norma ISO 50001:2011*.
14. SENA, M.d.M.y.E.C. (2011) *APLICACIÓN DE LA NORMA ISO 50001. Sistemas de gestión de la energía*.
15. ISO (2012) *Soluciones de medida y gestión de la energía para la Norma ISO 50 001 con PowerStudio SCADA*.
16. (AChEE), A.C.d.E.E. (2012) *Guía de Implementación de Sistema de Gestión de la Energía basada en la ISO 50001 de la Agencia. Chilena de Eficiencia Energética (AChEE)*,.
17. McKendry, P., *Energy production from biomass (part 2): conversion technologies*. *Bioresource Technology*, 2002. **83**(1): p. 47-54.
18. Baratieri, M., et al., *The use of biomass syngas in IC engines and CCGT plants: A comparative analysis*. *Applied Thermal Engineering*, 2009. **29**(16): p. 3309-3318.
19. McKendry, P., *Energy production from biomass (part 3): gasification technologies*. *Bioresource Technology*, 2002. **83**: p. 55-63.

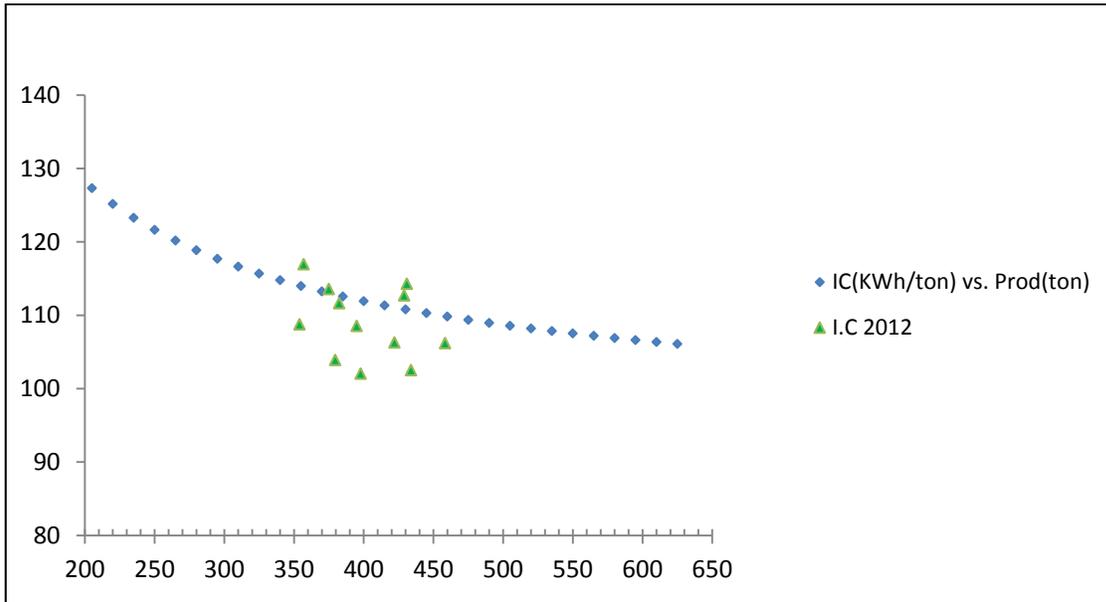
20. Di Blasi, C., *Combustion and gasification rates of lignocellulosic chars*. Progress in Energy and Combustion Science, 2009. **35**(2): p. 121-140.
21. Bridgwater, A.V., *Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass*. Chemical Engineering Journal, 2003. **91**(2-3): p. 87-102.
22. Anex, R.P., et al., *Techno-economic comparison of biomass-to-transportation fuels via pyrolysis, gasification, and biochemical pathways*. Fuel. **In Press, Corrected Proof**.
23. Blank, L. and A. Tarquin, eds. *Ingeniería Económica*. 4ta. edición, ed. McGraw-Hill. 1999.
24. Ulrich, G.D., *Diseño y economía de los procesos de ingeniería química*, N.E. Interamericana, Editor. 1986.
25. Casas, Y., et al., *Energy and exergy analysis of an ethanol fueled solid oxide fuel cell power plant*. Chemical Engineering Journal, 2010. **162**(3): p. 1057-1066.
26. Rivero, I.A.E.G., *Mejoramiento de la eficiencia energética y económica del CAI Arroceros Sur del Jíbaro mediante estudio de potenciales de ahorro por aprovechamiento energético de residuos*, in *FACULTAD DE INGENIERÍA*. 2010, Universidad de Sancti Spiritus "José Martí Pérez": SANCTI SPIRITUS.
27. Reed, T.B. and A. Das, *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems*, t.B.E. Foundation, Editor. March 1988, Solar Energy Research Institute, : 1617 Cole Boulevard, Golden, Colorado.
28. Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, I. (2008) *GUÍA TÉCNICA PARA LA MEDIDA Y DETERMINACIÓN DEL CALOR ÚTIL, DE LA ELECTRICIDAD Y DEL AHORRO DE ENERGÍA PRIMARIA DE COGENERACIÓN DE ALTA EFICIENCIA*.
29. Moltó Berenguer, J., *Descomposición térmica de residuos textiles: estudio cinético y formación de contaminantes*, in *Departamento de Ingeniería Química*. 2007, Universidad de Alicante: Alicante.
30. Ltd., A.S.E.T.P., *Oferta técnica y comercial para una (1) Planta de Gasificación y Generación de Energía Eléctrica, De 120 kWe a partir de GAS PRODUCIDO AL 100%*. in *OFERTA No. /13-14/36/006*, A.S.E.T.P. Ltd., Editor. Abril 04 de 2013: Ankur', Near Old Sama Jakat Naka, Baroda.
31. Peters, M.S. and K.D. Timmerhaus, *Plant Design and economics for chemical engineers*, M.-H.C.E. Series, Editor. 1991.
32. Gutiérrez, A.R.M., *Implementación parcial de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía en la Empresa Cárnica Sancti Spiritus*. 2010.

Anexos 1. Requerimientos ISO 50001, sistema de gestión de la energía.

Requisitos generales	4.1 Requisitos generales. 4.2 Responsabilidad de la dirección. 4.2.1 Alta dirección. 4.2.2 Representante de la dirección. 4.3 Política energética.	
Planificar	4.4 Planificación energética. 4.4.1 Generalidades. 4.4.2 Requisitos legales y otros requisitos. 4.4.3 Revisión energética. 4.4.4 Línea base energética. ■ 4.4.5 Indicadores de desempeño energético. 4.4.6 Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción de gestión de la energía.	
Hacer	4.5 Implementación y operación. 4.5.1 Generalidades. 4.5.2 Competencia, formación y toma de conciencia. 4.5.3 Comunicación. 4.5.4 Documentación. 4.5.5 Control operacional. 4.5.6 Diseño. ■ 4.5.7 Adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía.	■  Actividades medulares
Verificar	4.6 Verificación. ■ 4.6.1 Seguimiento, medición y análisis. 4.6.2 Evaluación de cumplimiento con los requisitos legales y otros requisitos. 4.6.3 Auditoría interna del SGE. 4.6.4 No-conformidades, corrección, acción correctiva y preventiva. 4.6.5 Control de registros.	
Actuar	4.7 Revisión por la dirección. 4.7.1 Generalidades. 4.7.2 Información de entrada para la revisión por la dirección. 4.7.3 Resultado de la revisión por la dirección.	

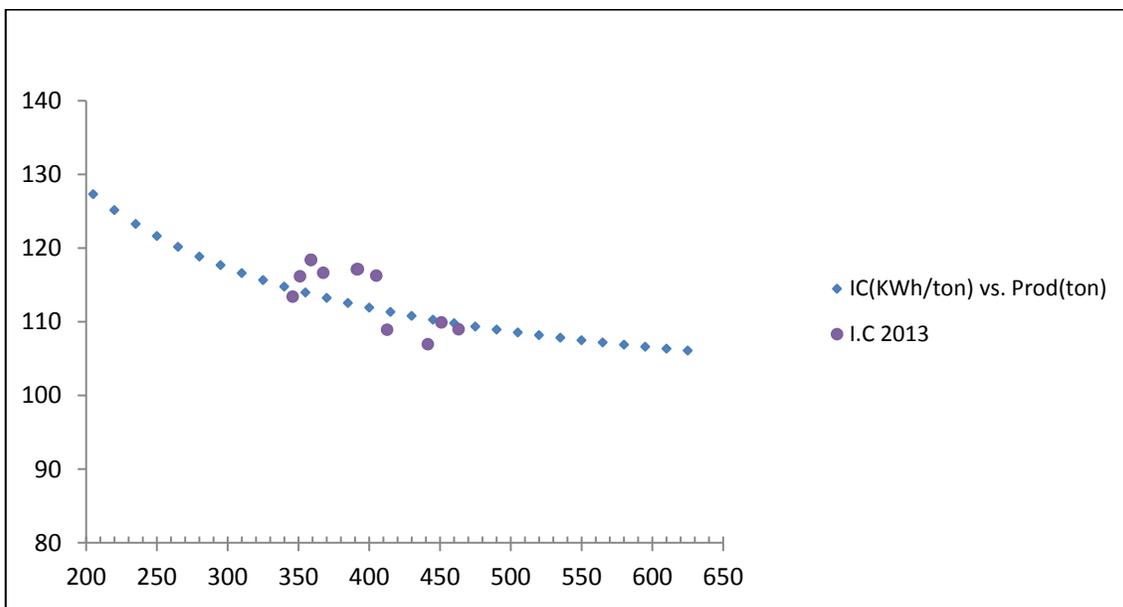
Anexo 2.

Gráfico comportamiento del índice de consumo para el año 2012. **La Empacadora "Roberto Quesada"**,



Fuente: autor

Gráfico comportamiento del índice de consumo para el año 2013. **La Empacadora "Roberto Quesada"**,



Fuente: autor

Anexos 3. Características de sistema de generación y distribución de vapor de la Empresa de Productos Lácteos “Río Zaza” (Pasteurizadora):

- Tipo: Piro tubular
- Marca: ARAUTERM
- Modelo: VVS HP-6000
- Presión de trabajo: 8 kgf / cm²
- Producción de vapor: 6 000 kg / hora
- Consumo de combustible: 499,2 L / hora

Del sistema de distribución de vapor de la Empacadora ‘Roberto Quesada’:

- Diámetro exterior de la tubería: 108 mm
- Distancia entre la caldera y los consumidores (válvula reg. presión): 240 m
- Cantidad de metros sin aislamiento térmico del total: 140 m
- Tipo de aislamiento térmico: lana mineral

Plano en planta de la red de suministro de vapor actual.

