

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN DE COSTOS: UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE INVERSIONES DE EN EFICIENCIA ENERGÉTICA, SU EVALUACIÓN ECONÓMICA Y DE RIESGO.

CAROLINA SALAZAR ARAGÓN
Universidad Federal de Itajubá - IEPG. Brasil
e-mail: casaragon@hotmail.com

EDSON DE OLIVERA PAMPLONA
Universidad Federal de Itajubá - IEPG. Brasil
e-mail: Pamplona@unifei.edu.br

JUAN RICARDO VIDAL MEDINA, MSC.
Universidad Autónoma de Occidente – GIEN. Colombia
e-mail: jrvidal@uao.edu.co

RESUMEN:

Debido a la falta de indicadores para diagnosticar el desempeño energético e identificar medidas de eficiencia energética que permitan lograr la reducción de los costos y la contaminación ambiental por medio de ahorros de energía, en este trabajo es presentada la aplicación de herramientas de diagnóstico energético desarrolladas por la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME del Ministerio de Minas y Energía de Colombia, con el propósito de identificar los potenciales de ahorro de energía, así como las inversiones en medidas de eficiencia energética necesarias para lograr dichos ahorros. Esta aplicación es realizada en la planta de buchas de la Mahle, industria multinacional del sector metalmeccánico, ubicada en la ciudad de Itajubá, MG. Con la primera fase del diagnóstico energético fue posible identificar que hay potenciales de ahorro de energía que representan una disminución del 60% del consumo de energía no asociada a la producción. Sin embargo, el diagnóstico por si solo no permite tomar decisiones de inversión; de este modo se hace necesario conocer las herramientas adecuadas para evaluar este tipo de inversiones, comprender sus beneficios y las variables que afectan su retorno y el riesgo inherente a ellas. La gestión de riesgo para este tipo de inversiones se ha limitado a la definición de periodos de recuperación (payback) cortos; lo que ha llevado a rechazar inversiones en EE que generan atractivos retornos por la falta del conocimiento y uso de herramientas adecuadas, para ello, también son presentadas las herramientas para el análisis de este tipo de inversiones.

Palabras clave:

eficiencia energética, diagnóstico energético, ahorros de energía, inversión, riesgo.

1. INTRODUCCIÓN

La reducción del impacto ambiental causado por el sector productivo es una preocupación mundial que en la actualidad ha despertado el compromiso de muchos gobiernos para direccionar sus leyes en función del desarrollo sostenible. El alto costo de las tecnologías no convencionales y renovables que en la actualidad podrían disminuir la contaminación ambiental, no permiten el cambio de las tecnologías convencionales, además del tiempo que este cambio de tecnología requiere. De esta forma, se debe buscar un equilibrio sostenible entre las nuevas tecnologías y el adecuado uso de las convencionales; es aquí donde la eficiencia energética surge como una buena alternativa para disminuir la contaminación ambiental, además de mejorar la competitividad y productividad de las empresas por la disminución del consumo de energía que se refleja en menores costos de operación y como afirma Cicone *et al.* (2007) es una medida fundamental para mantener un crecimiento saludable en las empresas a través de instalaciones más eficientes. Sin embargo, las medidas necesarias para lograr la eficiencia energética requieren inversión, pueden ser grandes inversiones de capital para la adquisición de nueva tecnología o poca inversión como las mejoras en el proceso productivo, manutención de los equipos e inclusive capacitación del personal para concientizarlo de la necesidad de hacer un uso racional de la energía, pues de acuerdo con Russell (2003), una gran cantidad de los ahorros de energía se puede obtener de las prácticas aplicadas en el día a día, lo que significa que la empresa no necesita de grandes inversiones y por tanto de fuentes de financiamiento tradicionales como el mercado de acciones o los préstamos bancarios de largo plazo (CICONE *et al.*, 2007).

Hay quienes afirman que el valor pago por la electricidad es por si solo una razón suficiente para motivar la implantación de medidas de eficiencia energética dentro de los procesos productivos (ENERGY HOJE 2011). Según este organismo, la energía brasilera es una de las más caras del mundo y los gastos por este concepto pueden representar hasta el 30% de los costos totales. Bajo este panorama, las empresas tienen interés en invertir en proyectos de eficiencia energética y obtener sus beneficios económicos, pero para lograrlo es importante saber identificar las inversiones necesarias; o sea, hacer un correcto análisis de ingeniería, el cual es uno de los principales problemas, pues se desconocen herramientas para el diagnóstico energético, enfocándose en el simple cambio de equipos sin tener en cuenta factores como la relación consumo-producción, la energía no asociada a la producción e índices de consumo que reflejen los verdaderos costos energéticos (CAMPOS, 2007).

Por otro lado, al hablarse de inversiones se está hablando de disponibilidad de capital, lo que quiere decir que no basta con determinar cuáles son las inversiones que se requieren, también es necesario hacer la evaluación económica y de riesgo adecuada para estas inversiones. En este aspecto también

han sido encontradas deficiencias, pues como lo presenta DeCanio (1998), los tomadores de decisiones rechazan opciones de inversión en eficiencia energética que generan beneficios, por la falta

de conocimiento en la evaluación de este tipo de inversiones y por la adopción de criterios que a pesar de ser convencionales, no son los más adecuados para considerar el riesgo. De este modo, Härus (2009) afirma que las barreras de las inversiones en eficiencia energética se derivan de una misma razón: la falta de herramientas de análisis apropiadas. Así mismo, el autor afirma que es necesaria la clara comprensión de los beneficios de estas inversiones para no ser rechazadas a pesar de ser rentables, lo que quiere decir que el primer paso para mejorar el análisis de la inversión es hacer un buen análisis de ingeniería para obtener valores confiables sobre los ahorros de energía que pueden ser alcanzados, así como conocer los factores que generan incerteza sobre estos ahorros, para que basados en estos datos pueda realizarse el análisis económico y de riesgo utilizando las herramientas apropiadas para inversiones en eficiencia energética.

Con el propósito de facilitar la toma de decisiones, para el análisis de ingeniería se propone la utilización de las herramientas de gestión de energía desarrolladas por la UPME. Con el uso de estas herramientas es posible identificar el potencial de ahorro de energía y las inversiones necesarias para alcanzarlo. Los resultados presentados corresponden a la primera fase del diagnóstico energético, o sea a la identificación del potencial de ahorros. Para el análisis económico y de riesgo es necesario tener identificadas las inversiones que permiten alcanzar dichos ahorros, sin embargo, es presentado el estado del arte sobre este asunto y la metodología que será utilizada para evaluar las inversiones después que sean identificadas. De este modo, en el capítulo dos es abordado el concepto de eficiencia energética, sus ventajas y barreras y la aplicación en Brasil. En el capítulo tres son presentadas las herramientas de diagnóstico energético; en el cuatro, el estado del arte de la evaluación de riesgo para estas inversiones; en el cinco, el diagnóstico energético realizado y finalmente en el seis, las conclusiones.

2. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética (EE) es definida como el volumen de energía consumida por unidad de producida (RUSSELL, 2003), Sorrell & Dimitropoulos (2008) la definen como la relación entre las salidas (producción) y la energía de entrada; ya ICRA (2004) dice que la EE significa utilizar menos energía para alcanzar una misma producción además de identificar los desperdicios de energía y tomar las acciones necesarias para eliminarlos, sin perjudicar la calidad.

Resumiendo éstas definiciones, puede decirse que la EE es la relación entre producción y consumo energético y que el aumento de la EE se puede alcanzar manteniendo un mismo nivel de producción

pero con un menor consumo energético o un mayor nivel de producción con igual consumo energético sin afectar la calidad del producto final.

De acuerdo con Taylor *et al.* (2008) la EE trae mejoras para la industria, pues mejora su rentabilidad, productividad y competitividad a través de la disminución de los costos, además de que reduce los impactos que causan cambios climáticos. Para Bennett & Wells (2002) la EE mejora la competitividad de las empresas toda vez que con su implementación se pueden planificar y controlar los potenciales efectos de la disponibilidad de la energía y su costo. Según Rusell (2003) la importancia de la eficiencia energética no está basada solamente en la disminución de los costos de producción, sino también en el uso racional de la energía, pues la falta de ella junto con los desperdicios de materia prima y los recursos ociosos, puede detener la producción y afectar la rentabilidad de la empresa.

Cicone *et al.* (2007) presenta la EE como una medida fundamental para mantener un crecimiento sustentable en las empresas a través de instalaciones más eficientes. De este modo, las actividades de monitoreo, medición y verificación del flujo de energía (RUSSELL, 2003) ganan importancia, lo que significa que se debe mantener un proceso de mejora continua de la EE, la cual también se puede asegurar con la renovación permanente de la tecnología a través de la reinversión de las economías generadas por la EE (PYE 1998).

2.1. Eficiencia energética en Brasil

A pesar de que Brasil cuenta con programas de EE desde 1985 y una próspera industria de empresas de servicios energéticos, es calculado que al año es desaprovechado un potencial de US\$ 2.500 millones en mejoras para la EE (WORLD BANK 2008). Dentro de los esfuerzos y principales iniciativas de EE han sido criados el Programa Brasileiro de Etiquetaje – PBE, el Programa Nacional de Conservación de la Energía Eléctrica – PROCEL, el Programa Nacional de Racionalización del Uso de los Derivados del Petróleo y del Gas Natural – CONPET y la más reciente Ley de Eficiencia Energética.

La actuación de PROCEL es directamente en el sector eléctrico y los programas de EE dirigidos al sector industrial están enfocados al sistema de fuerza motriz del sector, debido a que el 62% de la energía eléctrica consumida en la industria, corresponde al consumo de energía de estos sistemas¹. La

¹ PROCEL. Disponible en: <<http://www.elektrobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID={FBFB8D50-65B6-4135-9477-B0B2711D7AD8}>>. Acceso: 12 de enero de 2011

actuación de PROCEL ha sido muy positiva, pues con la implementación de las medidas de EE propuestas se han logrado ahorros de energía significativos. El diagnóstico energético realizado por PROCEL incluye el análisis del sistema de iluminación, los motores eléctricos, el sistema de aire comprimido, sistema de refrigeración, entre otros; sin embargo, está basado solo en el diagnóstico de

los equipos sin proponer el uso de indicadores de EE que permitan analizar la relación consumo – producción, y así identificar los consumos no asociados a la producción, dónde pueden haber grandes oportunidades de ahorro de energía y dinero con poca inversión. Además, los indicadores permiten monitorear el desempeño energético para identificar las oportunidades de mejora continua. Desde el punto de vista económico, PROCEL propone como herramienta de evaluación el *payback*, el valor presente neto – VPL y la tasa interna de retorno – TIR, sin tener en cuenta el análisis de riesgo.

3. HERRAMIENTAS PARA EL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

3.1 Gráficos de control.

Estos gráficos son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable en función de determinados límites establecidos. Su importancia está en que permiten detectar comportamientos anormales que actúan en alguna fase del proceso y que influyen en la desviación estándar del parámetro de salida controlado (UPME, 2006) e (CEEMA, 2002)

3.2 Diagrama consumo, producción Vs. Tiempo

Este diagrama permite el análisis simultáneo de la variación del consumo energético y la producción durante el periodo de tiempo observado. Puede realizarse para analizar el comportamiento del consumo y producción de toda la empresa, un área o equipo específico. Es útil ya que muestra los periodos de tiempo en los cuales se producen comportamientos anormales en la variación del consumo respecto a variaciones en la producción, además de que permite identificar las causas que los producen, pues es posible determinar los periodos en los cuales se presentan dichos comportamientos y hacer un análisis específico para esos periodos (UPME 2006) e (CEEMA 2002)

De acuerdo con UPME (2006), debe evaluarse la confiabilidad de los datos para determinar si la muestra tiene la validez necesaria para realizar la caracterización energética. Esta clasificación de la confiabilidad es determinada según como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Confiabilidad de los datos

Porcentaje de confiabilidad %	Clasificación
100 - 95	Buena
95 - 80	Regular
<80	Deficiente

Fuente: UPME (2006)

3.3 Diagrama de dispersión

Conocido también como diagrama de regresión, el objetivo de este diagrama es presentar la correlación entre dos variables, en este caso: consumo de energía y producción. Para esto se deben recolectar los datos correspondientes a estas variables para un periodo de tiempo que puede ser en días, meses o años y a través del método de mínimos cuadrados determinar el coeficiente de correlación R y la ecuación de la línea que se ajusta a los puntos de la gráfica. De acuerdo con CEEMA (2002) el coeficiente de correlación debe ser mayor o igual a 75%, mientras que UPME (2006) sugiere que debe ser mayor o igual a 85%. Estos organismos indican que coeficientes menores a los mencionados reflejan una relación débil entre las variables y que por tanto, los datos no son adecuados para efectuar el diagnóstico energético. Igualmente afirman que un coeficiente de correlación menor hace que el índice de consumo (otra herramienta presentada más adelante) no refleje adecuadamente la eficiencia energética de la empresa o área analizada. Para efectos de este trabajo, se tomará el promedio entre los coeficientes propuestos, es decir $R = 80\%$

La ecuación que se ajusta a los puntos de la gráfica está dada por:

$$E = mP + E_0 \quad (1)$$

Donde:

E = consumo de energía.

P = producción.

m = pendiente de la línea.

E_0 = intercepto de la línea

Esta ecuación refleja aspectos importantes: la pendiente (m) corresponde a la razón de cambio medio del consumo de energía respecto a la producción; el intercepto (E_0) es el consumo de energía no asociado a la producción, lo que quiere decir que a pesar de dejar de producir hay un consumo fijo dado por E_0 . Muchas de las oportunidades de ahorros de energía están en este consumo y pueden lograrse con poca inversión. Según UPME, (2006) y CEEMA (2002), este consumo puede estar dado por:

- La iluminación de la planta.
- La electricidad consumida por los equipos de las oficinas.
- Las áreas acondicionadas tanto de frío como de calefacción.
- La energía utilizada durante los servicios de mantenimiento.
- El precalentamiento de los equipos y los sistemas de tuberías.
- La energía perdida en aire comprimido.
- Pérdidas de electricidad por potencia reactiva.

3.4 Diagrama índice de consumo Vs. producción

Después de obtener la ecuación 1, puede obtenerse el índice de consumo dividiendo la ecuación 1 por la producción, tal como presentado en la ecuación 2.

$$IC = \frac{E}{P} = \frac{mP}{P} + \frac{E_0}{P}$$
$$IC = \frac{E}{P} = m + \frac{E_0}{P} \quad (2)$$
$$IC = m + \frac{E_0}{P}$$

La ecuación 2 muestra que el índice de consumo depende del nivel de producción realizada, de este modo, si la producción disminuye, es posible disminuir el consumo total de energía, sin embargo, el costo de energía por unidad de producto aumenta. Esto sucede porque hay una menor cantidad de unidades producidas soportando el consumo energético fijo. Por otro lado, si la producción aumenta, disminuyen los costos de energía por unidad de producto, sin embargo, hasta el valor límite dado por la pendiente (m) de la ecuación 2 (UPME, 2006). De este modo, el índice de consumo es una herramienta que contribuye a la programación de la producción.

4. INVERSIONES EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

Las inversiones en EE son consideradas como parte del proceso de toma de decisiones sobre el presupuesto de capital (HÄRUS, 2009), por lo tanto y de acuerdo con EPA (1998), las inversiones en EE deben ser consideradas como cualquier otro tipo de inversión; lo que significa que tienen que ser evaluadas con las mismas herramientas de evaluación económica, además de su respectivo análisis de riesgo, sin embargo, por la naturaleza de este tipo de inversiones, este último análisis no ha sido realizado de manera apropiada por los tomadores de decisiones a pesar de existir herramientas de análisis de riesgo apropiadas como Energy Budgets at Risk – EbaR[®], desarrollada por Jackson (2008).

La diferencia de una inversión en EE frente a otras inversiones está en que los ingresos son generados por los ahorros de energía y no por las actividades que constituyen el *core-business* de la empresa, y a pesar de los altos retornos ofrecidos aún existen barreras para estas inversiones, pues las tasas de retorno exigidas por las empresas han sido fijadas en niveles más altos que el costo de capital para la empresa (DeCANIO, 1993). Según (DeCANIO, 1998) este fenómeno es conocido como la paradoja de la eficiencia, pues de acuerdo con el autor, es una situación en que las empresas que se presuponen económicamente eficientes, rechazan opciones de inversión que traen beneficios por la falta de conocimiento en la evaluación de estas inversiones y la adopción de criterios que a pesar de ser convencionales, no son los más apropiados para tener en cuenta el riesgo. De este modo, Mills *et al.* (2006) afirma que muchas de las inversiones relacionadas con energía son realizadas sin una clara comprensión de sus valores financieros, riesgos y volatilidades. Por otro lado, también afirma que es necesario un análisis robusto de los aspectos físicos de la EE, lo que significa que es necesaria su comprensión para la correcta traducción de estos datos físicos en el lenguaje de las inversiones, coincidiendo con lo presentado por Tuomaala (2010). Pero en la realidad los administradores de la energía y los responsables por las decisiones de inversión no hablan el mismo idioma (MILLS *et al.* 2006).

En una investigación realizada por Sardianou (2008), el autor encontró que de las dos principales barreras a las inversiones en EE una está relacionada con las barreras financieras y de mercado y la otra con los factores humanos. La primera está dada por el limitado acceso al capital, la percepción de riesgo para estas inversiones y la falta de información adecuada. En cuanto que la segunda está relacionada con las actitudes de gestión frente a la EE y las dificultades técnicas para adoptar nuevas tecnologías. Es por esto que el autor afirma que gran parte del éxito de las medidas de EE está en la inversión de capital humano.

Rohdin *et al.* (2007), también considera que la principal barrera a las inversiones en EE es el limitado acceso al capital, seguido por el riesgo técnico causado por las interrupciones de la producción, generando esto, según el autor, una gran aversión al riesgo. De este modo Härus (2009) afirma que las

barreras a las inversiones en EE se derivan de una misma razón: la falta de herramientas de análisis adecuadas así como la falta de comprensión de sus beneficios.

4.1 Herramientas para la evaluación de inversiones en eficiencia energética

La evaluación de las inversiones en EE ha sido objeto de investigaciones tanto del área de la ingeniería como del área financiera, así como de organizaciones privadas y gubernamentales que promueven la EE, pues hace parte de la política energética de diferentes países con el propósito de disminuir los impactos ambientales generados por el consumo de energía y como medida de seguridad energética para evitar su escasez. Por esta razón, diferentes trabajos han sido desarrollados intentando ayudar a los tomadores de decisiones en el proceso de evaluación de este tipo de inversiones.

Al considerar las inversiones en EE como parte del proceso de toma de decisiones sobre el presupuesto de capital de una empresa, varios métodos pueden ser utilizados para evaluar las diferentes opciones de inversión (HÄRUS, 2009). De este modo Biezma & San Cristobal (2006) afirman que los proyectos de EE tienen que ser evaluados desde la óptica técnica y económica, siendo esta última realizada con los criterios de evaluación tradicionales. De acuerdo con estos autores, prácticamente los únicos criterios utilizados para evaluar estos proyectos son el VPN, la TIR y el payback, a pesar de existir numerosos criterios. En el trabajo desarrollado por Harris, Anderson & Shafron (2000) los autores encontraron que la metodología más utilizada para evaluar estas inversiones es el payback seguido en su orden por VPN y TIR. Encontraron también que el tiempo medio de recuperación es de 3,6 años; mientras que U.S. Department of Energy Office of Policy and Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (1996) encontró que para las empresas pequeñas y medianas es necesario un payback de menos de dos años, para las grandes empresas puede ser de tres años o menos. Sandberg & Söderström (2003) quienes realizaron una investigación con el propósito de identificar las necesidades a la hora de tomar decisiones respecto a inversiones en EE de empresas de alto y bajo consumo energético, encontraron que la herramienta más utilizada es el VPN, junto con TIR y payback.

Según Guide to Energy Efficient Technologies, el payback y el retorno sobre la inversión ROI, son las medidas ad hoc para evaluar inversiones en EE pero que pueden llevar a decisiones equivocadas, mientras que la TIR y el VPN son más efectivas porque la TIR permite comparar entre los rendimientos esperados de invertir en otros proyectos y el VPN tiene en cuenta todas las variables importantes relacionadas con la inversión, permitiendo así una mejor toma de decisiones. Sin embargo, afirma que el ROI tiene sus desventajas, pues no tiene en cuenta el valor del dinero en el

tiempo y puede sobreestimar el atractivo del proyecto cuando los flujos de dinero no son constantes y ocurren al final de proyecto.

En trabajos más recientes, Jackson (2010) afirma que en la práctica el payback es la herramienta más utilizada para evaluar inversiones en EE, además de que es utilizado como una simple regla de decisión para reducir el riesgo a través de la limitación del análisis a periodos cortos de recuperación. Según DeCanio (1993), este es un factor que causa la baja inversión en EE.

Puede concluirse que el payback a pesar de ser cuestionado su uso por sus desventajas, es la herramienta de evaluación más utilizada para la toma de decisiones sobre inversiones en EE, convirtiéndose esto en una de las barreras de la EE al limitar los análisis a periodos de recuperación cortos debido a la falta de herramientas más sofisticadas y precisas. Härus (2009) sobre este asunto concluye que el primer paso para mejorar la evaluación de las inversiones en EE, es fijar el VPN como método de análisis primario, sin embargo, es necesaria la adecuada evaluación de riesgo.

4.2 Análisis de riesgo para inversiones en eficiencia energética

Para hacer el análisis de riesgo para las inversiones en EE, es importante tener claridad sobre los factores que lo generan. De este modo, autores como Thompsom (1997) y EPA (1998) afirman que el riesgo de estas inversiones está relacionado con la incerteza del precio de la energía, además de los costos de operación y mantenimiento (EPA 1998). En el trabajo realizado por Harris, Anderson & Shafron (2000), los autores encontraron que las empresas que implementaron alguna medida de EE identificaron que los principales factores de riesgo están relacionados con los cambios de la información, el ajuste de los costos durante y después de la instalación de nuevos equipos y/o la implementación de la medida de EE y los costos asociados con imprevistos.

Mills *et al.* (2006) encontró que hay diferentes fuentes de riesgo en las inversiones en EE, además de otras fuentes que afectan la capacidad de su gestión. De este modo, el autor clasificó los riesgos en cinco categorías: económicas, contextuales, tecnológicas, operacionales y de medida y verificación. Cada categoría es afectada por factores endógenos y exógenos. Los factores endógenos están relacionados con los cambios en las instalaciones, las cuales pueden afectar el consumo de energía, o sea, cambios cuantitativos. Los aspectos exógenos están relacionados con la variación de los precios de la energía, los intereses y la tasa de cambio, afectando esta última a aquellas inversiones financiadas con capital extranjero o que tienen relación con otros países. Según Mills *et al.* (2006),

esta clasificación además de permitir identificar los riesgos de las inversiones en EE, es importante para su gestión, pues permite encontrar las herramientas de gestión más adecuadas para cada uno.

Härus (2009) afirma que los riesgos de los grupos económico, tecnológico y operacional son cuantificables y que por tanto, los efectos pueden ser analizados a través del uso de herramientas de análisis de riesgos, mientras que los efectos de los riesgos de la categoría contextual solo pueden ser analizados desde la óptica cualitativa.

Para la cuantificación de los riesgos presentados en el cuadro 1, Mills *et al.* (2006) propone la utilización del coeficiente de variación, el cual permite la comparación de las incertezas de una variedad de procesos físicos de una forma diferente. La normalización de los datos se hace dividiendo la desviación estándar de una distribución de posibles resultados por la media (en el trabajo desarrollado por Mills *et al.* (2006) la media corresponde a la media del *payback* de los proyectos), así se pueden comparar inversiones en eficiencia energética con diferentes niveles de incerteza. Un coeficiente de variación pequeño, significa que la incerteza y el riesgo son pocos.

Otra forma de cuantificar las incertezas propuesta por los autores es a través de la simulación de Monte Carlo, que permite integrar las diferentes variables en un método de evaluación económica. Sobre este enfoque, las características probabilísticas de cada componente de riesgo permiten identificar las incertezas y las actividades adecuadas para la gestión de riesgos (MILLS *et al.* 2006)

Como gestión de riesgos Mills (2003) propone la transferencia de riesgos a través de los seguros de ahorro de energía, ESI por sus siglas en inglés. Este tipo de seguros es un contrato entre el asegurador y el propietario de la unidad que va a implementar alguna medida de EE. Es establecida una línea base de los potenciales ahorros de energía y el asegurador se compromete a pagar cualquier déficit de ahorro; el precio del seguro es establecido como un porcentaje del ahorro de energía durante la vida del contrato. De acuerdo con el autor, ESI tiene un gran potencial para distribuir el riesgo y aumentar la confianza del mercado en el ahorro de energía. Además ofrece ventajas frente a otras formas de transferencia de riesgo como las garantías de ahorro y los bonos de desempeño. ESI es utilizado en Canadá y Estados Unidos, además de algunos ejemplos en Brasil y Malasia.

Mathew *et al.* (2005) considera que desde el punto de vista técnico el desafío está en la escasez de datos para apoyar el análisis de riesgo; es así como afirma que para medir la incerteza de las inversiones en EE es importante tener una base de datos para cada grupo de proyectos similares, lo que significa que las empresas que ofrecen servicios de EE deben contribuir a la colecta de datos que permita hacer un análisis más adecuado. De este modo, los autores proponen crear una base de datos a través de *actuarial data base* sobre el enfoque de *actuarial pricing*, el cual permite desarrollar modelos de predicción probabilística. Afirman también que el desarrollo de la base de datos apoya

otras formas de gestión de riesgos como ESI, pues las compañías aseguradoras pueden desarrollar un perfil de riesgo para los clientes basados en sus características.

En el libro escrito por Jackson (2008), el autor afirma que las medidas tradicionales como *payback*, TIR y *hurdle rate* no reflejan la incerteza, por tanto, por sí solas no son buenos criterios de evaluación de riesgo. Así, con el propósito de mejorar el análisis de riesgo de las inversiones en EE, Jackson (2008) desarrolló una herramienta llamada *Energy Budgets at Risk (EBaR®)*, la cual permite hacer evaluación y gestión de riesgo para las inversiones en EE. EBaR® está basado en *Value at Risk – VAR* que es una herramienta de gestión de riesgo ampliamente utilizada por el sector financiero. El corazón de EBaR® es la simulación de Monte Carlo, considerada la más poderosa en el cálculo del valor del riesgo (JORION 1998).

EBaR® hace un análisis de los datos y de las posibles variaciones de cada una de las variables y las aplica en un análisis de Monte Carlo, el cual simultáneamente incorpora la influencia de las variables sobre la inversión. Variables como el clima, el desempeño de los equipos y el precio de la energía están afectados por la incerteza. De este modo, lo que EBaR® permite hacer es una caracterización cuantitativa de la incerteza dada por las variables que afectan y determinan los ahorros de energía a través de la simulación de Monte Carlo, ofreciendo como resultado una distribución de probabilidad para la TIR y para los ahorros netos de energía, permitiendo tomar decisiones condicionadas por la tolerancia al riesgo de la organización. En otras palabras, determina la probabilidad de ocurrencia de los escenarios menos atractivos para los criterios de evaluación tradicionalmente utilizados, que utilizados por sí solos no reflejan el riesgo real de la inversión.

De acuerdo con Jackson (2008) EBaR® ofrece tres variables de decisión primarias:

EBaR_{presupuesto}, que muestra la mayor variación esperada en el presupuesto de energía (diferencia entre el costo actual y el previsto) dado un nivel de confianza.

EBaR_{TIR} y EBaR_{ahorro neto}, que evalúan el retorno de una inversión en EE.

Así mismo, el autor afirma que la TIR y los ahorros netos son las dos variables más importantes que se deben considerar en la evaluación de las inversiones en EE. Respecto a los ahorros, estos reflejan los beneficios generados por la inversión teniendo en cuenta los costos y gastos que no están explícitos en la TIR, tales como los gastos asociados con las funciones de gestión, contratación y adquisición (JACKSON 2008).

Con el propósito de ejemplificar la aplicación de EBaR® Jackson (2010) presenta un estudio de caso desarrollado en un edificio de oficinas. El objetivo es evaluar la mejoría de la eficiencia en los sistemas de iluminación, calefacción, ventilación y aire acondicionado. Las características de la

inversión son presentadas en la tabla 2. y a través de EBaR[®] son obtenidos los resultados presentados en la tabla 3.

Tabla 2– Características de la inversión

	<i>Valor</i>
Costo total de la inversión	\$325.000
Ahorros de energía estimados	\$153.400
Payback	2,1 años
TIR	46,1%
Ahorro de energía neto	\$95.900

Fuente: adaptado de Jackson (2010)

Tabla 3 – Resultados EBaR[®]

	<i>Valor mínimo da TIR</i>		<i>Valor mínimo de los ahorros netos</i>
EBaR_{TIR,esperado}	46,1%	EBaR_{ahorroneto,esperado}	95.900
EBaR_{TIR,90%}	39,5%	EBaR_{EcoLiq,90%}	75.500
EBaR_{TIR,95%}	37,5%	EBaR_{EcoLiq,95%}	69.600
EBaR_{TIR,97,5%}	36,2%	EBaR_{EcoLiq,97,5%}	65.900

Fuente: adaptado de Jackson (2010)

De acuerdo con Jackson (2010) y según los resultados presentados en la tabla 2 EBaR[®] permite afirmar que hay un 90% de oportunidad de obtener una $TIR \geq 39,5\%$ y ahorros netos $\geq US\$75.500$. Visto desde la óptica de un escenario pesimista, existe 2,5% de probabilidad de obtener una $TIR \leq 36,2\%$ y ahorros netos $\leq US \$65.900$. Bajo estos resultados, Jackson (2010) afirma que basándose en el *payback* la empresa no aceptaría llevar a cabo esta inversión, pues al limitar la gestión de riesgo a periodos cortos de recuperación, sería para los tomadores de decisiones una inversión riesgosa. Sin embargo, si son utilizadas herramientas de evaluación del riesgo apropiadas, como EBaR[®] es evidente que llevar a cabo esta inversión genera atractivos retornos con un bajo riesgo.

De acuerdo a las diferentes formas de para evaluar el riesgo de las inversiones en eficiencia energética, se concluye que la más utilizada es el *payback*, sin embargo, no es la más adecuada; para ello se sugiere utilizar la metodología EBaR[®] la cual al estar basada en la simulación de Monte Carlo, puede adaptarse a través del uso de Cristal Ball[®]. Para ello, debe haber claridad en el cálculo de las economías de energía generadas por la inversión y en la identificación de las variables que generan incerteza. El desarrollo de este análisis no es presentado en este trabajo, pues está en la fase del diagnóstico energético y de identificación de las economías de energía que pueden alcanzarse.

5. APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE IDENTIFICACIÓN DE INVERSIONES EN EFICIENCIA ENERGÉTICA.

Para el desarrollo de este trabajo fue seleccionada la mini-fábrica de buchas y aruelas de la Mahle, Itajubá. Esta área cuenta con dieciséis líneas de producción. Los datos colectados y utilizados para el diagnóstico energético corresponden a la producción mensual de buchas y aruelas dada en unidades y el consumo mensual de energía medido en kWh, durante el periodo 2008-2010.

5.1 Gráfico de control

Con el gráfico de control presentado en la figura 3, aparentemente el consumo está controlado, pues no existen puntos fuera de los límites inferior y superior, sin embargo, se observa un comportamiento de tendencia, pues del consumo observado presenta periodos con subidas y caídas constantes; dando indicios de que hay comportamientos atípicos en el consumo energético que pueden estar causados por falta de control en esta variable.

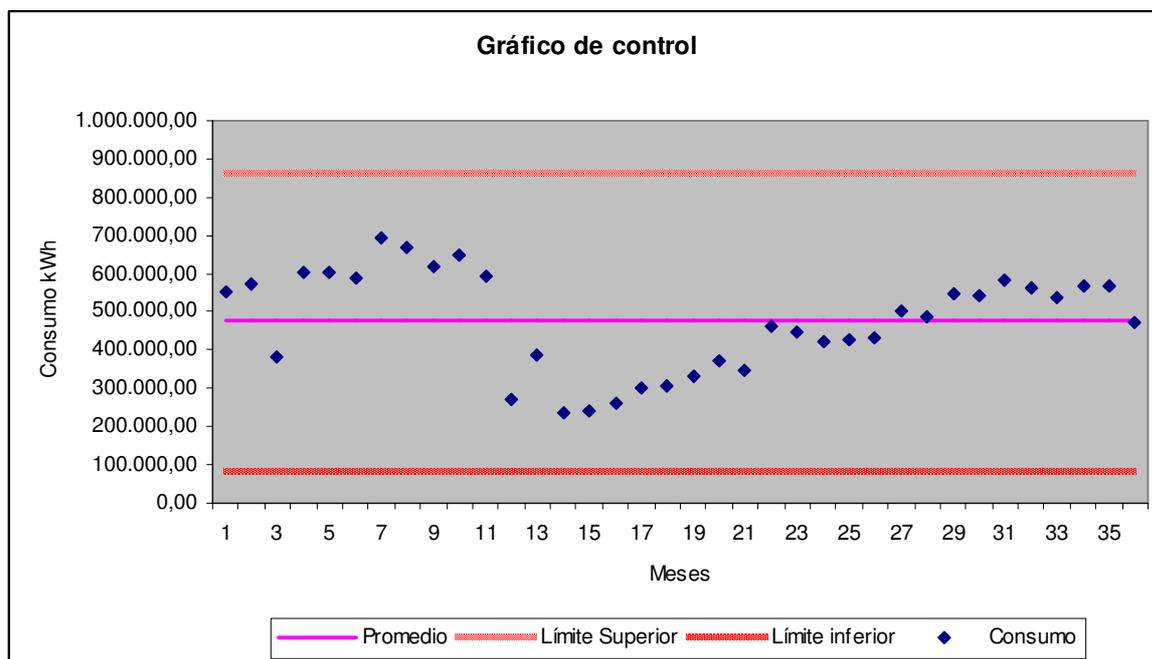


Figura 3. Gráfico de control para la variable consumo

5.2 Análisis de la variación del consumo y la producción

En la figura 4 es posible observar que se presentan comportamientos atípicos en la variación del consumo y la producción, pues hay meses en los que se registra un aumento de la producción y a su vez una disminución del consumo de energía respecto al mes anterior y viceversa; cuando lo que se espera es igual comportamiento para ambas variables.

Basados en estos datos es calculada la confiabilidad de los mismos, para el caso analizado es de 50%, resultado que indica una confiabilidad deficiente según la clasificación presentada en la tabla 1; lo que sugiere que existen problemas con los datos.

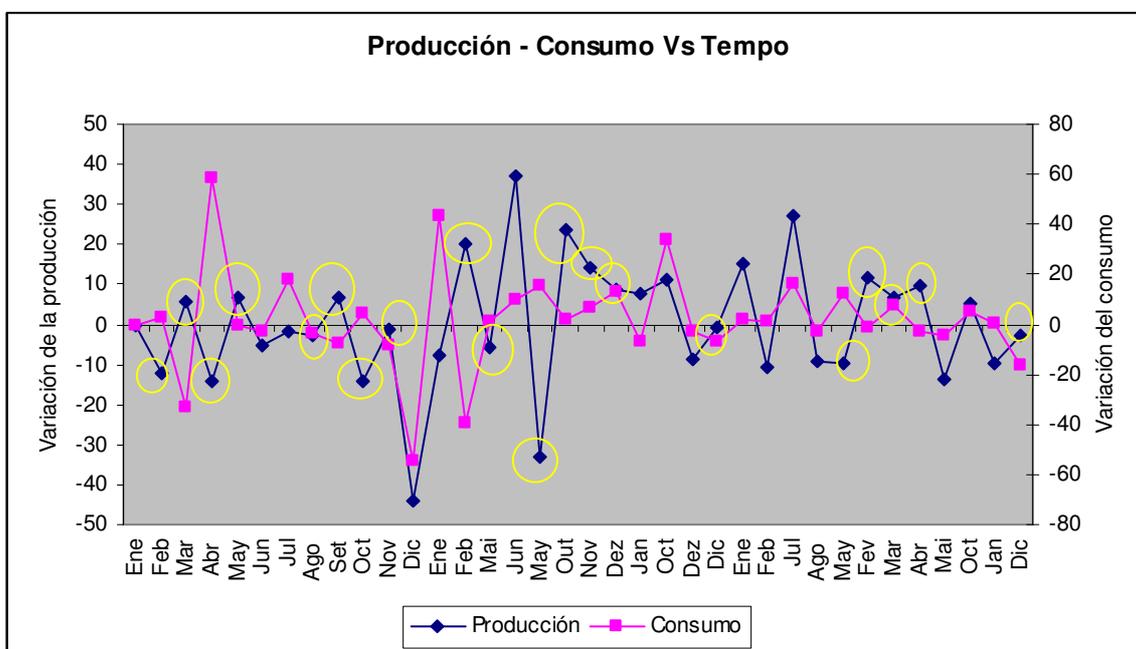


Figura 4 – Variación del consumo de energía y la producción Vs. Tiempo (2008-2010).

Fuente: elaboración propia.

5.3 Análisis de correlación

Para hacer este análisis es realizada una regresión para las variables consumo y producción. Como resultado es obtenida la siguiente ecuación para el consumo:

$$\text{Consumo} = 0,1076 * \text{producción} + 57733 \quad (3)$$

Sin embargo, al analizar el coeficiente de correlación se encuentra que es de 76%, resultado menor a 80%. Comprobando una vez más que los datos presentan problemas y que por tanto, no son

adecuados para hacer el diagnóstico energético de la mini-fábrica. Los resultados obtenidos son presentados en la figura 5.

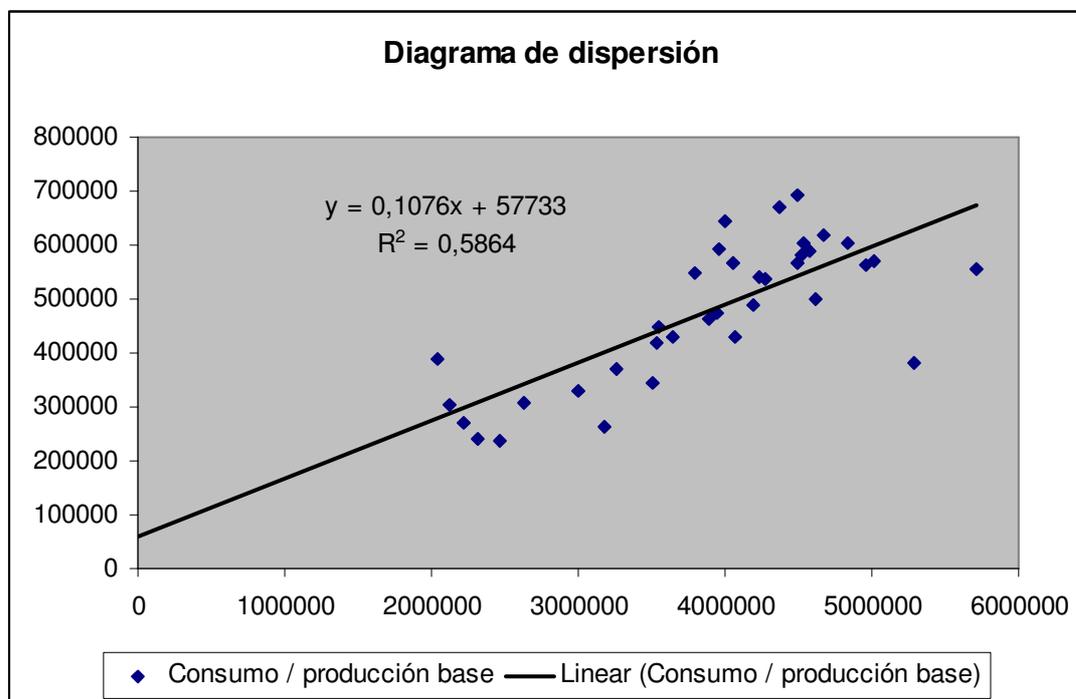


Figura 5 - Diagrama de dispersión consumo Vs. Producción.
Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta los resultados arrojados por el gráfico de control, el análisis de la variación de consumo y producción y el análisis de correlación entre estas variables puede concluirse que existen problemas con los datos. De acuerdo con UPME (2006), estas inconsistencias pueden generarse por:

- Errores en la medición, colecta y procesamiento de datos.
- No hay estabilidad en el proceso productivo.
- La producción no ha sido adecuadamente establecida, por ejemplo, existe producción en proceso que consumió energía y no ha sido considerada o existen productos con diferentes requerimientos energéticos.

Al analizar cuál de estos aspectos puede estar generando inconsistencias, es encontrado que en la empresa define como producción, el número de total de unidades producidas por la mini-fábrica sin diferenciar la producción de cada una de las dieciséis líneas de producción, cada una con un consumo de energía diferente, o sea, existen productos con diferentes requerimientos energéticos. Por esta razón, los datos utilizados no reflejan la real eficiencia energética de la mini-fábrica.

Para corregir esto, se hace necesario introducir el concepto de **producción equivalente** con la cual, es posible tener en cuenta la energía consumida por cada línea de acuerdo a la producción realizada de cada una. De este modo, para encontrar la producción equivalente son realizados balances energéticos para determinar el consumo de energía de cada línea y con la ayuda del diagrama de Pareto definir el 20% de las líneas que consumen el 80% de la energía. Como puede observarse en la figura 6, las líneas de producción de buchas son responsables por el 80,58% del consumo de energía, mientras las aruelas por solo el 19,42%.

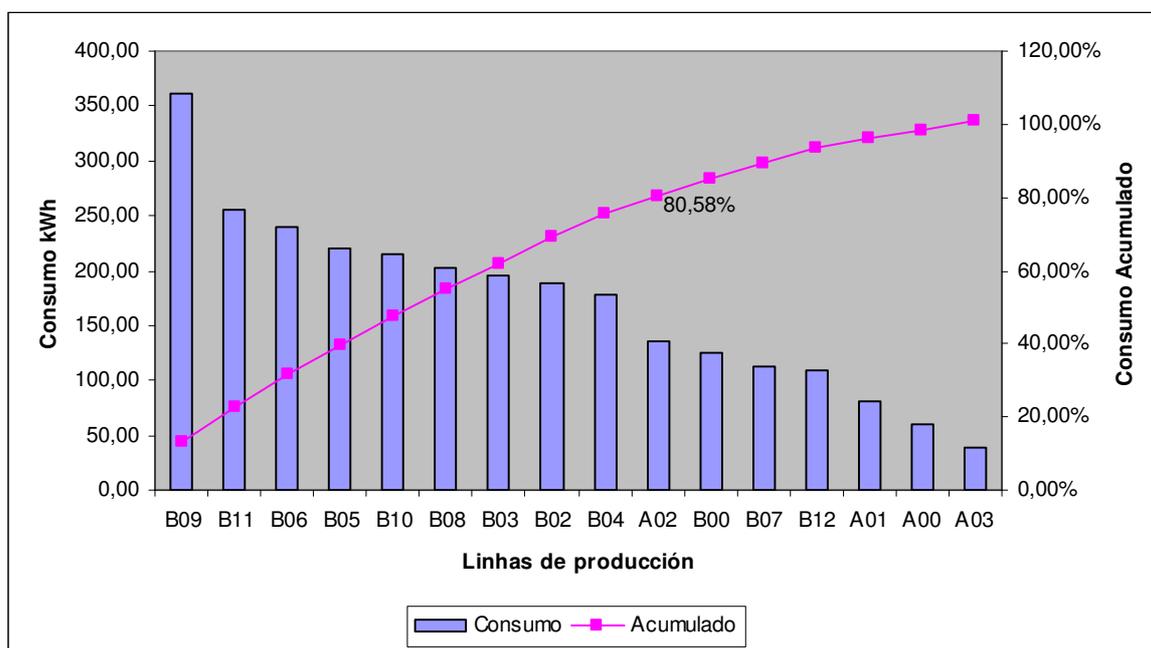


Figura 6. Diagrama de Pareto
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que la línea que más consume energía es la línea B09, esta es definida como la línea base para encontrar el factor de conversión energético que permite expresar la producción de la mini-fábrica en unidades equivalentes de producto de la línea B09.

Habiendo calculado el factor de conversión energético para cada línea, es posible determinar la ecuación de la producción equivalente como sigue:

$$\sum U_i * F_i \quad (4)$$

Donde:

U_i : son las unidades producidas de cada línea

F_i : el factor de conversión energético de cada línea.

Teniendo la producción equivalente para el período analizado 2008-2010, se realiza de nuevo el análisis de correlación y es obtenido un coeficiente de correlación de 87,66%, lo que refleja una fuerte

relación lineal positiva; indicando de este modo que el uso de la producción equivalente mejora el grado de relación entre las variables consumo y producción. Además que muestra el real desempeño energético de la mini-fábrica. La nueva ecuación para el consumo se presenta en la ecuación 5.

$$\text{Consumo} = 44.861 + 0,396 * P_{\text{equivalente}} \quad (5)$$

Con esta ecuación obtenida es posible determinar que existe un consumo no saciado a la producción de 44.861kWh, el cual puede ser disminuido. Para ellos, basándose en esta línea base, son analizados los puntos de mejor desempeño, es decir, aquellos que están debajo de la línea de regresión base y con ellos es estimada una nueva regresión que va a determinar la línea meta, es decir, la que quiere ser alcanzada. Así, la diferencia entre la línea base y la línea meta permiten establecer los potenciales de ahorro de energía.

La figura 7 representa la línea base y meta para el consumo de energía de la mini-fábrica.

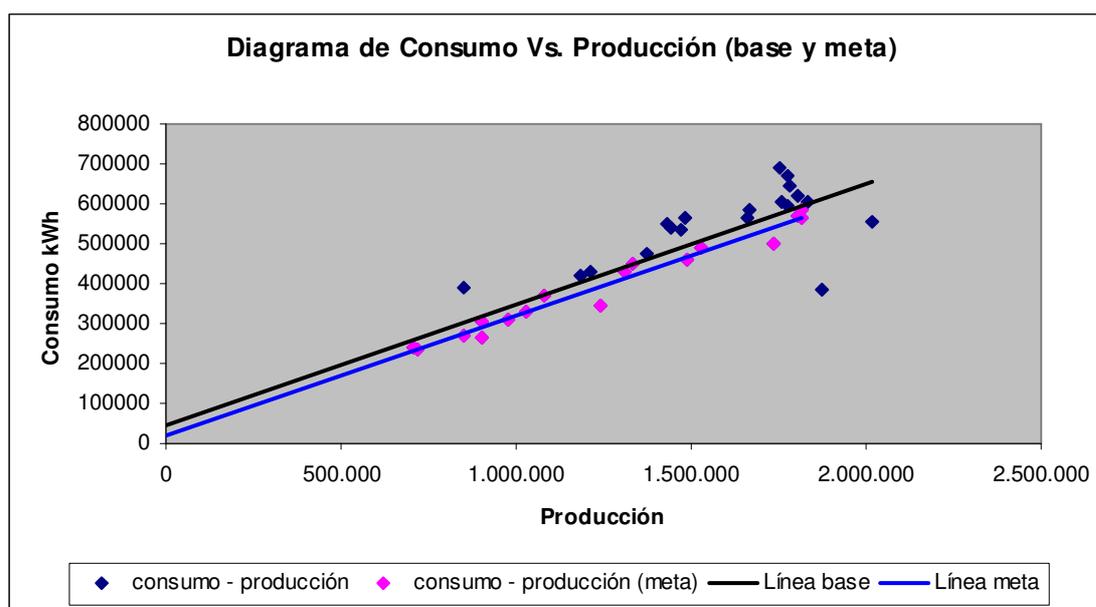


Figura 7 - Diagrama de dispersión consumo Vs. Producción equivalente
Fuente: elaboración propia.

La ecuación para la línea meta obtenida es:

$$C_{\text{meta}} = 17.832 + 0,396 * P_{\text{metaeq}} \quad (6)$$

Para esta ecuación el coeficiente de correlación obtenido es de 98,31%, mayor al obtenido en la línea base, lo que quiere decir que las variables estrechan su relación, inclusive puede afirmarse que esta nueva línea de regresión describe mejor el comportamiento del consumo y la producción de la mini-fábrica.

Teniendo en cuenta el resultado para línea meta, es posible determinar que existen potenciales ahorros de energía de 27029kWh por mes, lo que significa una reducción del 60% del consumo de energía no asociado a la producción. Representando un ahorro de U\$ 48.550² al año.

5.4 Índice de consumo – producción

Como fue solucionado el problema con los datos al incluir el concepto de producción equivalente, es posible obtener el índice de consumo – producción representado por la figura 8, el cual refleja la real eficiencia de la mini-fábrica. Con esta figura es posible observar que el índice de consumo varía entre 0,36 e 0,60kWh / unidad. También puede observarse que la producción crítica es de 1.273.242 unidades equivalentes, lo que significa que un volumen de producción menor es ineficiente, pues incrementa el índice de consumo al aumentar los gastos energéticos por unidad de producto, mientras que volúmenes por encima no van a contribuir a disminuir dicho índice, pues es en este punto que el índice de consumo alcanza su menor valor y no va a variar significativamente al aumentar la producción.

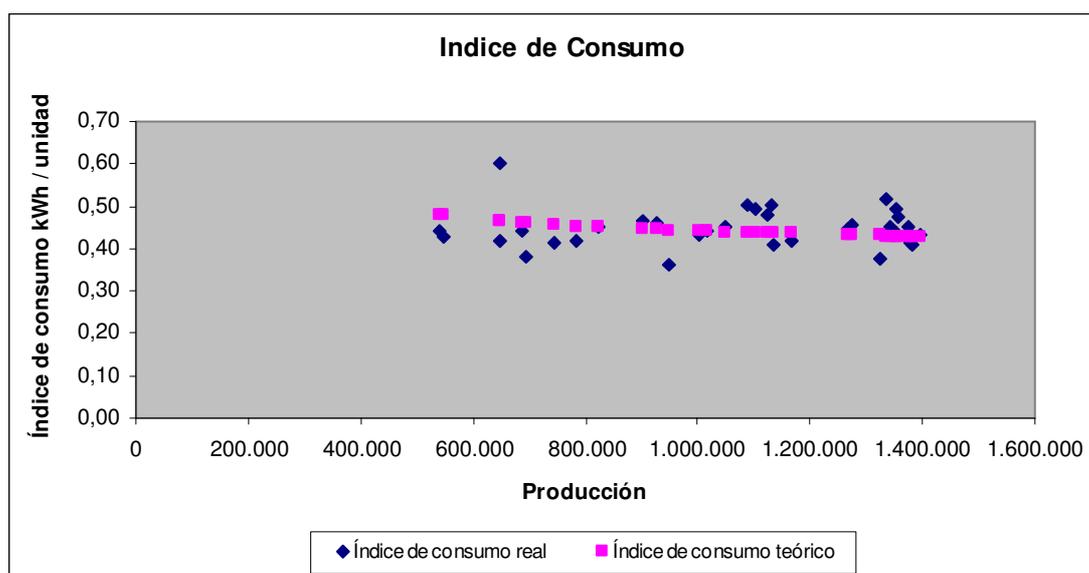


Figura 8. Índice de Consumo.

Fuente: elaboración propia.

Los puntos por debajo de la línea de consumo teórico son de operación eficiente, mientras que los puntos por encima son de operación ineficiente, sin embargo, existe un potencial de disminución del

² Cálculo basado en una tasa de cambio de R\$1,5788 por dólar del día 11 de julio de 2011 y una tarifa de consumo de 0,236326 R\$/kWh

índice de consumo, dado por la diferencia entre el índice de consumo real y el índice de consumo teórico para igual nivel de producción.

Con el diagnóstico energético realizado es posible concluir que la mini-fábrica necesita de un mejor control del proceso productivo, haciendo una planeación de la producción.

6. CONCLUSIONES:

Invertir en eficiencia energética trae beneficios tanto económicos como ambientales, es por esto que las empresas y gobiernos tienen interés en invertir en ella, sin embargo, aun existe poco conocimiento sobre sus reales beneficios y las herramientas adecuadas para evaluar el riesgo de este tipo de inversiones, por ello, es importante alinear el análisis de ingeniería y el análisis económico, pues con el primero son determinados los potenciales ahorros y las inversiones necesarias para lograrlos y con el segundo, se analizan las diferentes opciones de inversión y se escoge la que representa la mejor relación retorno - riesgo. Para el análisis de ingeniería las herramientas de gestión de energía propuestas por la UPME permiten una estimación de los ahorros, además del monitoreo continuo del consumo y la producción. Para el análisis económico y de riesgo la mejor herramienta para estimar el riesgo es la simulación de Monte Carlo, sin embargo, deben estar claramente definidas las variables que generan incerteza y que por tanto, afectan el retorno de la inversión, que para el caso de la EE estos retornos están dados por los ahorros de energía netos; los cuales son establecidos con el análisis de ingeniería, lo que significa que el análisis de riesgo no ofrece resultados precisos sino es realizado un correcto análisis de ingeniería.

Las herramientas de gestión de energía permiten identificar los potenciales de ahorro de energía y a su vez un potencial de reducción de costos. Con el diagnóstico realizado pudo determinarse un potencial de ahorro de 27029kWh por mes, lo que significa una reducción del 60% del consumo de energía no asociado a la producción y un ahorro anual de US\$48.550, que pueden lograrse con la misma tecnología instalada.

Las herramientas utilizadas no solamente permiten diagnosticar el desempeño energético también permiten identificar la calidad de los datos que puede estar afectada por: errores en la medición, colecta y procesamiento de datos; falta de estabilidad en el proceso productivo; la existencia de producción en proceso y productos con diferentes requerimientos energéticos. Para el caso de la mini-fábrica analizada fue posible determinar que la inconsistencia en los datos se debe a que la producción es determinada como el número de unidades producidas por ésta, sin tener en cuenta que existen dieciséis líneas de producción, cada una con un consumo de energía diferente.

La producción equivalente es una herramienta valiosa para corregir estas inconsistencias y así, lograr hacer un diagnóstico energético con datos que reflejen el real desempeño energético de la mini-fábrica.

La mini-fábrica puede planear su producción basada en el punto crítico de producción dado por el análisis del índice de consumo y así definir niveles de producción que contribuyan a disminuir los gastos por unidad de producto.

Aunque no son presentadas las opciones de inversión necesarias para alcanzar los ahorros de energía y aplicada la metodología adecuada para evaluar este tipo de inversiones; basándose en el estado del arte presentado sobre este aspecto, se concluye que la metodología adecuada para evaluar el riesgo de este tipo de inversiones es la Simulación de Monte Carlo, con la cual es posible obtener resultados más exactos que el uso del payback como regla de decisión. La identificación de las inversiones necesarias para alcanzar los ahorros de energía y el análisis de riesgo serán realizados en la siguiente etapa de la investigación.

BIBLIOGRAFIA

BENNETT, C., WELLS, R. Planning for Energy-Based Business Risks. Executive Action, December 2002.

BIEZMA, M.V., SAN CRISTOBAL, J.R. Investment criteria for the selection of cogeneration plants—a state of the art review. Applied Thermal Engineering, v. 26 p. 583–588, 2006

CAMPOS, J. C. Caracterización Energética: el primer paso hacia el uso racional de la energía. Publicaciones Científicas. Revista Ciências 2007. Disponible en: <<http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EpZyEkkEuulBycVxCr.php>>. Acceso en: 29 oct. 2010.

CEEMA, Gestión energética empresarial. Universidad de Cienfuegos. Cuba, 2002

CICONE, D., CORREA, F., MORALES M. E., BAESSO, J. A. Atratividade financeira e tomada de decisão em projetos de eficiência energética. Revista Brasileira de Energia, v. 13, n. 2, p. 129 – 146, 2007

DeCANIO, S. J. Barriers within firms to energy-efficient investments. Energy Policy, v. 21, n. 9, p. 906-914, 1993.

DeCANIO, S. J. The efficiency paradox: Bureaucratic and organizational barriers to profitable energy-saving investments. Energy Policy, v. 26, n. 5, p. 441-454, 1998

ENERGY HOJE. Disponible en: < <http://www.energiahoje.com/?ver=mat&mid=432276>>. Acceso en: 13 de may. 2011

EPA. Business Analysis For Energy-Efficiency Investments. United States Environmental Protection Agency. June 1998

GUIDE FOR THE SELECTION OF ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGIES. Disponible en: <<http://www.emtfsask.ca/pdfs/gdenefftech.pdf>>. Acceso en: 06 nov. 2010.

HARRIS, J., ANDERSON, J., SHAFRON W. Investment in energy efficiency: a survey of Australian firms. Energy Policy, v. 28, p. 867-876, 2000

HÄRUS, Niklas. Analyzing energy efficiency investments in the process industry - case Sachtleben Pigments Oy. Accounting Master's thesis - Department of Accounting and Finance, Helsinki School Of Economics. 2009. 119p.

ICRA Advisory Services. Manual to appraise energy efficiency projects. 2004

JACKSON, J. Promoting energy efficiency investments with risk management decision tools. Energy Policy, v. 38, n. 8, p. 3865-3873, 2010

JACKSON, J. Energy budgets at risk. A energy management approach to energy purchase and efficiency choices. Wiley Finance, 2008.

JORION, P. Value at Risk: a nova fonte de referência para o controle do risco de Mercado. 1998

MATHEW, P., KROMER, J.S., SEZGEN, O., MEYERS, S. Actuarial pricing of energy efficiency projects: lessons foul and fair. Energy Policy, v. 33, p. 1319–1328, 2005

MILLS, E. Risk transfer via energy-savings insurance. Energy Policy v. 31, p. 273–281, 2003

MILLS, E., KROMER, J.S., WEISS, G., MATHEW, P. From volatility to value: analyzing and managing financial and performance risk in energy savings projects. Energy Policy 34, p. 188–199, 2006

PROCEL. Disponible en < <http://www.eletrabras.com/elb/procel/main.asp?TeamID={FBFB8D50-65B6-4135-9477-B0B2711D7AD8}>>. Acceso en: 12 de ene. 2011

PYE, M. Making business sense of energy efficiency and pollution prevention. American Council for an Energy-Efficient Economy. April 1998

ROHDIN, P., THOLLANDER, P., SOLDING, P. Barriers to and drivers for energy efficiency in the Swedish foundry industry. Energy Police, v. 35, p. 672 – 677, 2007

RUSSELL, C. Strategic industrial energy efficiency: reduce expenses, build revenues and control risk. Alliance to Save Energy. 2003

SANDBERG, P., SÖDERSTRÖM, M. Industrial energy efficiency: the need for investment decision support from a manager perspective. Energy Policy, v. 31, p. 1623–1634, 2003

SARDIANOU, E. Barriers to industrial energy efficiency investments in Greece. *Journal of Cleaner Production*, v. 16, n. 13, p. 1416 – 1423, 2008

SORELL, S., DIMITROPOULOS, J. "The rebound effect: microeconomic definitions, limitations and extensions," *Ecological Economics*, v. 65, n.3, p. 636-649, 2008.

TAYLOR. R., GOVINDARAJALU. C., LEVIN, J., MEYER, A., WARD, W. financing energy efficiency: lessons from Brazil, China, India, and Beyond. 2008

THOMPSON, P. Evaluating energy efficiency investments: accounting for risk in the discounting process. *Energy Policy*, v. 25, n. 12, p. 989-996, 1997

TUOMAALA, M., HURME, M., LEINO, A. Evaluating the efficiency of integrated systems in the process industry Case: Steam cracker. *Applied Thermal Engineering*, v. 30, p. 45–52, 2010

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY OFFICE OF POLICY AND OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. Analysis of energy-efficiency investment decisions by small and medium-sized manufacturers. 1996. Disponible en: <<http://www.nrel.gov/csp/troughnet/pdfs/5173.pdf>>. Acceso en: 14 oct. 2010

UPME - UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Herramientas para el análisis de caracterización de la eficiencia energética. 2006.

WORLD BANK 2008. Eficiencia energética: un gran potencial sin aprovechar en Brasil. Disponible en: <<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/BANCOMUNDIAL/NEWSSPANISH/0,,contentMDK:21662984~pagePK:64257043~piPK:437376~theSitePK:1074568,00.html>>. Acceso en: 12 ene. 2011