



Modelo de normalización de indicadores de desempeño energético en implementación de Sistemas de Gestión de Energía. Caso de estudio: Sector Textil

Model standards of historical production information for building energy performance indicators in the implementation of Energy Management Systems

José Daniel Cleves Osorio^{a*}, Omar Fredy Prias Caicedo^a, Henry Camilo Torres Valderrama^a.

Recibido: Agosto 30 de 2014
Recibido con revisión: Agosto 20 de 2015
Aceptado: Diciembre 01 de 2015

^{a*}Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá
Cra 30 # 45 - 03
Tel.: (+57 1) 316 5000 Ext. 11145
jdclevesos@unal.edu.co
ofpriasc@unal.edu.co
hctorresv@unal.edu.co

Energética 46, diciembre(2015), pp. 65-71

ISSN 0120-9833 (impreso)
ISSN 2357 - 612X (en línea)
www.revistas.unal.edu.co/energetica
© Derechos Patrimoniales
Universidad Nacional de Colombia



RESUMEN

En general, las industrias en Colombia no cuentan con medición adecuada que genere información del consumo de energía por producto, línea o etapa de producción, lo cual, es una debilidad para la construcción de líneas de base y establecer metas para mejorar el desempeño energético. Se propone, un nuevo indicador de desempeño energético basado en intensidad energética en función de un modelo de producción equivalente para identificar los procesos, áreas o productos con uso significativo de energía y establecer la tendencia de consumo en función de los niveles de producción de cada producto. La metodología propuesta parte de la información de consumo de energía total de la industria, y mediante modelos matemáticos establecer indicadores de intensidad energética por productos, de tal forma que se determine una producción equivalente para establecer indicadores de desempeño energético más objetivos con respecto al comportamiento energético-productivo de la organización.

PALABRAS CLAVE

Indicador de desempeño energético; intensidad energética; ISO 50001; línea de base energética; producción equivalente; sistema de gestión de la energía; Caracterización energética.

ABSTRACT

In general terms, the industries do not have adequate measuring systems to generate data of energy consumption by product, production line or process. This is a weakness for the construction of energy baselines and the establishment of goals to improve energy performance. In response, a new energy performance indicator is proposed, based on energy intensity and responding to a production data normalization model. This approach allows to identify the processes, areas and products with significant energy use and establishes a trend line of consumption, as a function of the production levels. The proposed methodology starts by gathering the total enterprise energy consumption and, through mathematical models, leads to the establishment of energy intensity indicators by process. This allows to set energy equivalencies among products, finally guiding to a normalized production data, which serves to establish energy performance indicators more suitable to the company energy behavior.

KEYWORDS

Energy performance indicator; Energy intensity; ISO 50001; Energy baseline; Equivalent Production; Energy management system; Energy assessment.

1. INTRODUCCIÓN

La trayectoria de la Gestión Energética en Colombia inicia con la búsqueda de un modelo que permita implementar un sistema en la industria que, de manera articulada mejore el desempeño energético, entendido como el resultado medible relacionado con la eficiencia energética, el uso y consumo de la energía. Que, aumente la productividad y genere competitividad en los diferentes sectores industriales con la reducción de los costos de producción asociados al consumo de los recursos energéticos y así continuar atractiva para el mercado [Javied et al., 2015]. Esta búsqueda tuvo como resultado en el 2008 el primer modelo que define etapas y actividades para la implementación de un Sistema de Gestión Integral de Energía SGIE [Campos, 2008] como se muestra en la Ilustración 1.

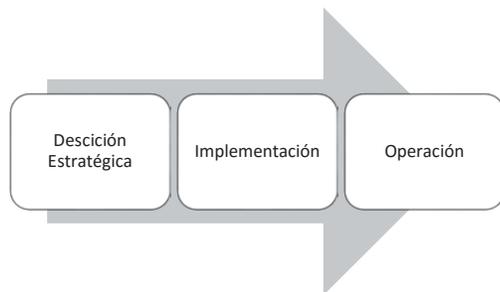


Imagen 1. Etapas Sistema de Gestión de Energía.

Fuente: Elaboración Propia

El Modelo inicia con la etapa de decisión estratégica, en donde se realiza la caracterización energética y organizacional con el objetivo de conocer la matriz energética, los procesos, los consumos de energía, los sistemas de medición, los costos de producción, las responsabilidades en el manejo de la energía con el fin de establecer escenarios energético-productivos base y así iniciar la mejora continua del desempeño energético. De la misma forma se consolida el compromiso e interés de la organización con la gestión de la energía. [Carretero, 2012].

Posteriormente, se inicia la implementación del SGIE, en donde se definen objetivos alineados con la política energética, se definen los límites y alcance del sistema, se establecen los indicadores de desempeño energético, se implementan sistemas de medición de información energético – productiva, se construye la línea de base energética con las respectivas metas energéticas, se diseñan e implementan planes de acción para el cumplimiento de metas y se cierra la brecha de la organización con respecto al cumplimiento de requisitos de ISO 50001.

Durante la operación del SGIE la organización realiza el seguimiento y comunicación de indicadores, verificación

de cumplimiento de metas energéticas, revisión del SGIE por la alta dirección y ajustes que permitan continuar con la mejora del desempeño energético y así, cerrar el ciclo de mejora continua PHVA empleado según los lineamientos establecidos por la ISO 50001 [Prias & Campos, 2013; UPME, 2007], de la cual se espera que impacte el 60% del consumo energético mundial [RANKY & TAG, 2012].

En la etapa de decisión estratégica, el Modelo de Gestión Integral de Energía MGIE, plantea una metodología y herramientas para caracterizar el escenario energético- productivo actual de la organización que permite identificar fortalezas y debilidades para la implementación de un SGIE. Una de las debilidades más comunes en la industria es la deficiente información energético – productiva para iniciar el seguimiento del desempeño energético, lo cual puede incurrir en errores en el modelamiento del comportamiento energético de organización.

Las herramientas para la construcción del escenario energético base corresponden con la matriz energética, diagramas de Pareto, diagramas energético productivos, indicadores de desempeño energético, la línea de base energética y el índice de consumo en función de la producción, entre otros. Los diagramas de Pareto que permiten determinar los equipos, procesos o áreas con uso significativo de energía, en este punto se inician las aproximaciones para asociar un consumo de energía por equipo, proceso o área. Normalmente se define el consumo energético de un equipo como el producto entre la potencia nominal y el tiempo de operación de este, sin embargo, surgen inquietudes: ¿El equipo opera en condiciones nominales siempre?, ¿Las estimaciones de tiempo de operación se cumplen?, ¿Se tiene en cuenta el consumo de energía asociado a energéticos secundarios empleados en el funcionamiento del equipo?

Para el caso de la línea de base energética, es necesario encontrar el indicador de producción correcto de tal modo que se evidencie la correlación y tendencia del consumo de energía en función los nivel de la producción, específicamente para cada producto, etapa o materia prima; Por otra parte, Teniendo en cuenta que a partir de la línea de base energética se definen potenciales de ahorro y metas energéticas para iniciar el mejoramiento del desempeño energético, se debe garantizar que el modelo matemático que define la tendencia del consumo de energía se aproxime al comportamiento energético – productivo real de la organización, para esto, se propone un nuevo indicador de desempeño energético que permite definir los procesos o áreas con uso significativo de energía con base en la intensidad energética del productos asociado y posteriormente modelar el comportamiento energético en función de los diferentes niveles de producción por medio de un modelo de producción equivalente.

Con la normalización de la producción y estableciendo intensidades energéticas por producto, área o proceso se puede simplificar el diseño del sistema de medición de energía que cumpla con las necesidades y el alcance del SGE debido a la obtención de un consumo estimado de los procesos o áreas o productos incluidos en el modelo.

Para abordar el tema y presentar el modelo el presente artículo contiene la metodología y el modelo matemático adaptado a la gestión de la energía y los resultados de la aplicación del modelo a la industria textil durante el proceso de caracterización energética en la industria realizada durante el Programa Estratégico Nacional – Sistema de Gestión Integral de Energía.

2 METODOLOGÍA

Modelo de normalización de producción

Durante la implementación de Sistemas de Gestión de Energía, se establece los indicadores de desempeño energético a partir de la línea de base energética de la forma $mX+E_0$, elaborada con la regresión lineal de los datos de consumo y producción, la cual, establece dos variables que define el comportamiento energético de la organización. El “ E_0 ” - consumo de energía no asociado a la producción, que define la energía base que requiere el proceso productivo y que no depende de los niveles de producción. El otro parámetro es intensidad energética “ m ”, dada por la pendiente de la regresión lineal, que indica el consumo de energía dado por la producción de cada unidad de producto.

El presente modelo de normalización de variables que impactan el consumo de energía [Velázquez et al., 2013], en este caso productivas, busca generar una producción equivalente por medio de la determinación de intensidades energéticas de cada producto. Para calcular a una producción equivalente, es necesario estimar un consumo como la suma de cada nivel de producción, ponderado por la intensidad energética de cada producto, tal y como se expresa en la ecuación (1)

$$CE = \beta_0 + \beta_1 P_1 + \beta_2 P_2 + \dots + \beta_k P_k \quad (1)$$

Donde la variable “ P_k ” corresponde a la cantidad de unidades producidas de cada producto tomado en cuenta en el modelo, los coeficientes “ β_k ” corresponden a la intensidad energética por producto. “ β_0 ” define el consumo energético no asociado a la producción.

$$\beta_k = \frac{\text{Consumo de energía}}{\text{Unidad de producto } i} \quad (2)$$

La intensidad energética “ β_k ” de cada producto (2), esta expresada en términos de consumo de energía por unidad de producto. Una vez estimados los coeficientes de intensidad energética se identifican los productos intensivos en consumo de energía, y así, con los niveles de producción, establecer los procesos o líneas de producción con uso significativo de energía.

$$\alpha_k = \frac{\beta_k}{\beta_{Base}} = \frac{\text{Unidades de producto Base}}{\text{Unidad de producto } k} \quad (3)$$

La relación energética de productos α_k (4), corresponde a la cantidad de unidades de producto base que se pueden elaborar con el consumo energético utilizado para producir una unidad del

producto (k). Con esta información, se establece una producción equivalente en función de las equivalencias energéticas α_k y los niveles de producción por producto. La ecuación de producción equivalente es:

$$P_{eq} = P_1 + \alpha_2 P_2 + \alpha_3 P_3 + \dots + \alpha_n P_n \quad (4)$$

Estimación de coeficientes de intensidad energética por producto por método de mínimos cuadrados (MCO)

Para determinar los coeficientes de intensidad energética β_k de cada producto que se desea normalizar bajo un producto equivalente o base, es necesario recurrir a métodos matemáticos que permitan estimar estos coeficientes. Para este caso de estudio la metodología empleada es la regresión lineal por el método de mínimos cuadrados (MCO) [Gujarati & Porter, 2009], el cual permite estimar los coeficientes de una forma matricial de la siguiente forma:

$$E = \begin{bmatrix} CE_1 \\ \vdots \\ CE_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$P = \begin{bmatrix} 1 & P_{11} & P_{21} & P_{31} & \dots & P_{k1} \\ 1 & P_{12} & P_{22} & P_{32} & \dots & P_{k2} \\ 1 & P_{13} & P_{23} & P_{33} & \dots & P_{k3} \\ 1 & P_{14} & P_{24} & P_{34} & \dots & P_{k4} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & P_{1n} & P_{2n} & P_{3n} & \dots & P_{kn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$CE = P * \beta \quad (8)$$

Dónde: P corresponde a la matriz de producción, β al vector columna de intensidades energética de cada producto, CE al vector columna de datos históricos de consumo de energía, “ n ” corresponde al número de datos de producción y consumo histórico y “ k ” al número de productos que se desean normalizar.

$$\begin{bmatrix} CE_1 \\ \vdots \\ CE_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & P_{11} & P_{21} & P_{31} & \dots & P_{k1} \\ 1 & P_{12} & P_{22} & P_{32} & \dots & P_{k2} \\ 1 & P_{13} & P_{23} & P_{33} & \dots & P_{k3} \\ 1 & P_{14} & P_{24} & P_{34} & \dots & P_{k4} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & P_{1n} & P_{2n} & P_{3n} & \dots & P_{kn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad (9)$$

De tal forma que se tienen “n” ecuaciones de consumo energético de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 CE_1 &= \beta_0 + \beta_1 P_{11} + \dots + \beta_k P_{k1} \\
 CE_2 &= \beta_0 + \beta_1 P_{12} + \dots + \beta_k P_{k2} \\
 &\vdots \\
 CE_n &= \beta_0 + \beta_1 P_{1n} + \dots + \beta_k P_{kn}
 \end{aligned} \tag{10}$$

La estimación de los coeficientes de intensidad energética se realiza por medio de la reducción del error o el residuo al cuadrado entre el consumo real CE y el consumo estimado, donde la suma del cuadrado residual “u” (SCR) se obtiene de la siguiente forma:

$$\sum u^2 = \sum (CE_i - \beta_0 - \beta_1 P_{1i} - \beta_2 P_{2i} - \dots - \beta_k P_{ki})^2 \tag{11}$$

Debido a que se tiene una función potencial de “k” variables, para minimizar el error al cuadrado es necesario diferenciar parcialmente en función de cada coeficiente de intensidad energética e igualar a cero de tal modo que se estimen dichos coeficientes en el punto más cercano al mínimo de la función.

$$\frac{\partial \sum u^2}{\partial \beta_0} = 2 \sum (CE_i - \beta_0 - \beta_1 P_{1i} - \beta_2 P_{2i} - \dots - \beta_k P_{ki})(-1) \tag{12}$$

$$\frac{\partial \sum u^2}{\partial \beta_1} = 2 \sum (CE_i - \beta_0 - \beta_1 P_{1i} - \beta_2 P_{2i} - \dots - \beta_k P_{ki})(-P_{1i})$$

$$\frac{\partial \sum u^2}{\partial \beta_2} = 2 \sum (CE_i - \beta_0 - \beta_1 P_{1i} - \beta_2 P_{2i} - \dots - \beta_k P_{ki})(-P_{2i})$$

$$\frac{\partial \sum u^2}{\partial \beta_k} = 2 \sum (CE_i - \beta_0 - \beta_1 P_{1i} - \beta_2 P_{2i} - \dots - \beta_k P_{ki})(-P_{ki})$$

Al igualar las derivadas parciales a cero, se obtendrán los coeficientes de intensidad energética de cada producto más cercanos al punto de inflexión de la función de varias variables.

$$0 = 2 \sum (CE_i - \beta_0 - \beta_1 P_{1i} - \beta_2 P_{2i} - \dots - \beta_k P_{ki})(-1) \tag{13}$$

$$0 = 2 \sum (CE_i - \beta_0 - \beta_1 P_{1i} - \beta_2 P_{2i} - \dots - \beta_k P_{ki})(-P_{2i})$$

$$0 = 2 \sum (CE_i - \beta_0 - \beta_1 P_{1i} - \beta_2 P_{2i} - \dots - \beta_k P_{ki})(-P_{ki})$$

$$\begin{bmatrix} n & \sum P_{2i} & \sum P_{3i} & \sum P_{4i} & \dots & \sum P_{ki} \\ \sum P_{2i} & \sum P_{2i}^2 & \sum P_{2i}P_{3i} & \sum P_{2i}P_{4i} & \dots & \sum P_{2i}P_{ki} \\ \sum P_{3i} & \sum P_{3i}P_{2i} & \sum P_{3i}^2 & \sum P_{3i}P_{4i} & \dots & \sum P_{3i}P_{ki} \\ \sum P_{4i} & \sum P_{4i}P_{2i} & \sum P_{4i}P_{3i} & \sum P_{4i}^2 & \dots & \sum P_{4i}P_{ki} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum P_{ki} & \sum P_{ki}P_{2i} & \sum P_{ki}P_{3i} & \sum P_{ki}P_{4i} & \dots & \sum P_{ki}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} & \dots & P_{2n} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} & \dots & P_{3n} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} & \dots & P_{4n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{k1} & P_{k2} & P_{k3} & P_{k4} & \dots & P_{kn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} CE_1 \\ CE_2 \\ CE_3 \\ CE_4 \\ \vdots \\ CE_n \end{bmatrix} \tag{14}$$

Llevando estas “k” ecuaciones a una forma matricial tenemos (ver ecuación 15)

$$(P' P) * \beta = P' * CE \tag{15}$$

De tal forma el vector de coeficientes de intensidad energética por producto es:

$$\beta = (P' P)^{-1} * P' * CE \tag{16}$$

Resultados de la aplicación del modelo en industria textil

La industria textil cuenta con subprocesos dentro del su proceso productivo como tejido, teñido, acabados, preparación telares, entre otros, con los cuales se obtiene diferentes clases de telas dependiendo de la composición del hilo utilizado al tejer y la forma y color que se aplica al teñir. El número de tipos de telas puede estar alrededor de 300, cada uno con una intensidad energética diferente que impide establecer una línea de base energética (LBE) unificada ante ausencia de medición energética específica.

Para establecer una LBE en la industria textil que exprese la tendencia del consumo de energía eléctrica en función de la producción se implementó el modelo de producción equivalente propuesto partiendo de la información productiva de los procesos principales, como son el tejido y teñido, los cuales a partir del censo de carga y diagrama de Pareto presentan mayor uso significativo de energía, como se observa en la ilustración 2. A partir de esta información, se determinó la intensidad energética por subproducto (Tela tejida y tela teñida) para identificar los usos significativos de energía (USE) [UNIDO, 2013] y posteriormente establecer una línea de base energética en función de los dos niveles de producción con base en la intensidad energética por producto.

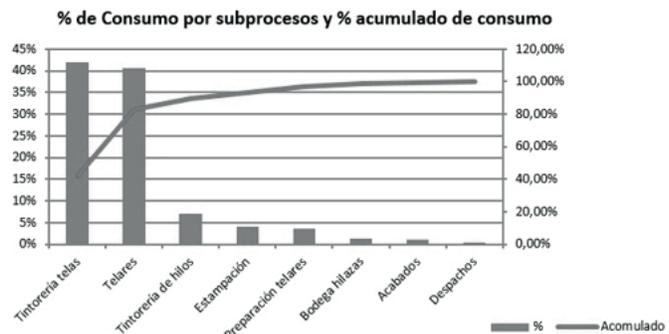


Imagen 2. Diagrama de Pareto industria textil.

Fuente: Elaboración Propia

El subproceso de telares cuenta con 350 telares con motores con una potencia entre 4,5 kW y 7 kW. El subproceso de teñido cuenta con 21 Jet's (Equipos de tintorería), cada uno posee una bomba con un motor eléctrico con potencia de 35 kW y dos motores auxiliares de 0,5 HP. El tiempo de operación bajo condiciones normales es de 24 horas al día durante 6 días a la semana. Cabe resaltar que como energético secundario los dos procesos utilizan aire comprimido generado por medio de dos compresores centrífugos con potencia conjunta de 1300 HP, potencia que no se asoció a ningún proceso.

Posteriormente se establecieron los indicadores de desempeño energético por proceso. Para el caso de tintorería de telas el indicador de producción establecido es [m Tela Teñida] e IDE: [kWh/m Tela teñida] y para telares el indicador de producción es [m Tela Tejida] e IDE: [kWh/m Tela tejida].

Inicialmente, al establecer la línea de base energética con una intensidad energética igual para cada producto, es decir, sumando directamente la producción de cada uno de los procesos se obtuvo como resultado la siguiente gráfica de tendencia:

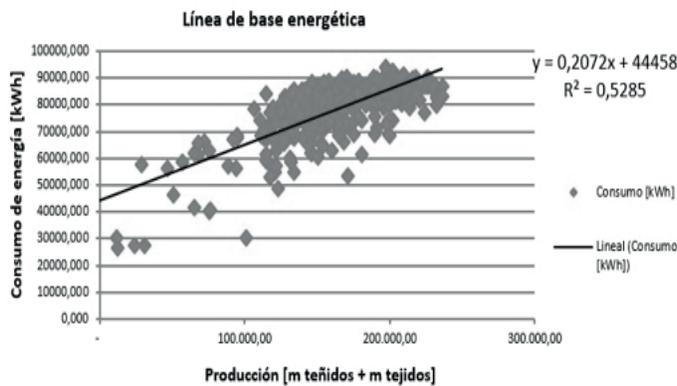


Imagen 3. Línea de base energética sin aplicar modelo de producción equivalente.
Fuente: Elaboración Propia

Con una primera aproximación de una LBE, se planteó el modelo de consumo de energía en función de la producción multivariable, aplicando el modelo de normalización de la producción y teniendo en cuenta los productos de las áreas con uso significativo de energética de acuerdo con el censo de carga de la siguiente forma:

$$CE = \beta_0 + \beta_1 P_{teñido} + \beta_2 P_{Tejido} \tag{17}$$

De acuerdo con el modelo energético – productivo establecido, se debe hallar el coeficiente de intensidad energética de cada producto y la energía no asociada a la producción (en el modelo β_0) que reflejen un comportamiento energético productivo de la industria. Al aplicar el modelo de normalización de la producción con herramientas computacionales, en este caso MATLAB, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

$$\beta_0 = 34647 \text{ kWh} \tag{18}$$

$$\beta_1 = 0,125 \left[\frac{kWh}{m_{TelaTeñida}} \right] \tag{19}$$

$$\beta_2 = 0,428 \left[\frac{kWh}{m_{TelaTejida}} \right] \tag{20}$$

Para verificar el diagrama de Pareto establecido de acuerdo con censo de cargas realizado, se realiza una estimación del consumo por proceso de acuerdo con la intensidad energética por producto y el nivel de producción promedio anual como se muestra en la siguiente tabla.

Proceso	Intensidad Energética	Nivel de producción	Consumo energético anual
Tintorería Tela	0,125 [kWh/m tela teñida]	27'645.490 [m]	3,45 GWh
Telares	0,428 [kWh/m tela tejida]	23'871.636 [m]	10,21 GWh

Tabla 1. Consumo anual con base en la intensidad energética por producto.

Fuente: Elaboración Propia

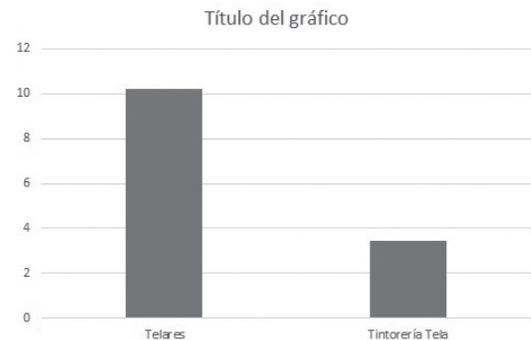


Imagen 4. Diagrama de Pareto con base en coeficientes de intensidad energética
Fuente: Elaboración Propia

Una vez establecidos los coeficientes de intensidad energética por producto se definió aleatoriamente como producto de referencia el generado por el subproceso de tintura y de esta forma se estableció la relación de productos de la siguiente forma:

$$\alpha_2 = \frac{\beta_2}{\beta_1} = 3,42 \left[\frac{m_{TelaTeñida}}{m_{TelaTejida}} \right] \tag{21}$$

Con la relación de producto (Tela teñida en función de Tela tejida) la función de producción equivalente se establece como se muestra a continuación.

$$P_{Eq} = P_{Tela Teñida} + 3,42 * P_{Tela Tejida} \tag{22}$$

La ecuación de consumo energético en función de la producción para este caso de industria textil es:

$$CE = m * P_{Eq} + E_0 \quad (23)$$

Al establecer nuevamente la LBE de la industria, utilizando los datos históricos de consumo energético total de la planta y la producción luego de aplicar el modelo de producción equivalente se obtuvo el siguiente resultado:

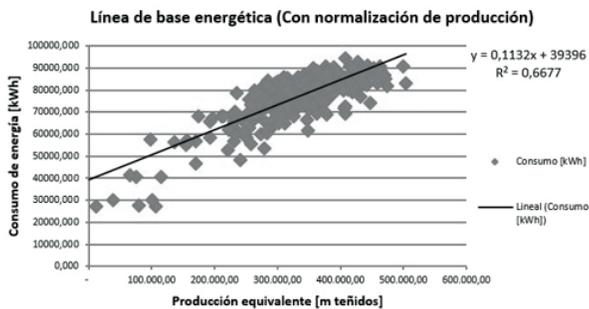


Imagen 5. Línea de base energética con modelo de producción equivalente.

Fuente: Elaboración Propia

Este modelo de producción equivalente permite obtener una representación confiable y objetiva del proceso energético productivo de una empresa ante ausencia de sistemas de medición, permitiendo diseñar y establecer una línea de base energética que cumpla con los requerimientos de un sistema de gestión de la energía.

4. CONCLUSIONES

Implementando un modelo de producción equivalente se pueden realizar caracterizaciones energéticas en el sector industrial que permitan obtener una distribución energética productiva más confiable del proceso en general y de cada uno de los subprocesos en particular por productos o áreas de la empresa, generando indicadores de desempeño energético que disminuyan el riesgo ante la toma de decisiones en la verificación y ajuste de los Indicadores de Desempeño Energético IDEs del sistema de gestión de energía con el objetivo de mejorar el desempeño energético de la industria.

Por medio de una regresión lineal se comprobó el aumento del coeficiente de determinación R^2 mediante la aplicación del modelo, lo cual representa un aumento en la dependencia del consumo de energía respecto a los niveles de producción y genera confiabilidad en la toma de decisiones a partir de la Línea de Base Energética. Es de anotar que este no debe ser el único indicador estadístico utilizado en el momento de modelar el comportamiento energético de una empresa.

En el proceso de la industria textil, tomando como caso particular la empresa utilizada para el presente artículo; los valores de intensidad energética por producto calculados por medio del modelo de normalización de producción son coherentes con la carga instalada más el recurso energético secundario utilizado en cada uno, el cual no se había tenido en cuenta para el diagrama de Pareto. La demanda de aire comprimido en su mayor parte se debe al proceso de tejeduría, el cual usa este energético tanto en los actuadores como en el transporte del hilo a través del telar.

Con la implementación del modelo de producción equivalente, la industria puede ampliar su árbol de indicadores de desempeño energético por medio de la información obtenida del modelo, debido a que con el coeficiente intensidad energética de cada producto se pueden estimar los consumos de energía por áreas o procesos en relación directa con el producto. Adicionalmente, al ampliar el árbol de indicadores por medio de estimaciones se simplifica el sistema de medición. Para este caso específico no es necesario instalar equipos de medición en cada uno de los subprocesos (Tintorería y telares) debido a que con la aplicación del modelo es posible con conocer el consumo energético del conjunto, es decir un medidor para los dos subprocesos.

REFERENCIAS

- Campos, J.C., 2008. El MGIE, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional. *El hombre y la máquina*, (30), pp.18–31.
- Campos, J.C. & Lora, E., 2009. Manual de mantenimiento centrado en la eficiencia energética para sistemas industriales, Barranquilla: Editorial Universidad del Atlántico.
- CARRETERO PEÑA, Antonio and GARCÍA SÁNCHEZ, Juan Manuel. Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora [online]. España : AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, 2012. ISBN 9788481437539. Available from: <http://site.ebrary.com/lib/unalbogsp/docDetail.action?docID=10637550>
- Guajarati, D.N. & Porter, D.C., 2009. *Econometría*,
- JAVIED, T., RACKOW, T. and FRANKE, J. Implementing Energy Management System to Increase Energy Efficiency in Manufacturing Companies. *Procedia CIRP* [online]. 2015. Vol. 26, p. 156–161. [Accessed 2 April 2015]. DOI 10.1016/j.procir.2014.07.057. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114008701>
- Prías, O. & Campos, J.C., 2013. Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía - Guía con base en la norma ISO 50001,
- RANKY, P G and TAG, I S O. Sustainable energy management and quality process models based on ISO 50001:2011 the International Energy Management Standard. *Sustainable Systems and Technology (ISSST)*, 2012 IEEE International Symposium on. 2012. P. 1–6. DOI 10.1109/ISSST.2012.6227995. Sustainable energy management and related green engineering design and manufacturing processes are affecting every aspect of our lives. *Sustainable energy management, product and process engineering, green, lean and quality design, manufacturing/system energy*

management rules and principles are offered with a focus on the new ISO 50001:2011 International Energy Management Standard.

UNIDO, 2013. Practical Guide for Implementing an Energy Management System,

UPME. Sistema de Gestión Integral de la Energía Guía de Implementación. Bogotá., 2007. ISBN 978-958-8123-43-1.

Velázquez, D. et al., 2013. Development of an energy management system for a naphtha reforming plant: A data mining approach. *Energy Conversion and Management*, 67, pp.217–225. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890412004529> [Accessed August 14, 2014].