

**OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UNA EMPRESA PROCESADORA DE  
SALES MINERALES ALIMENTICIAS**

**SERGIO FERNANDO QUINTERO AREVALO  
EFRAIN ELIAS MENDOZA ALVAREZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
Barranquilla  
2014**

**OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UNA EMPRESA PROCESADORA DE  
SALES MINERALES ALIMENTICIAS**

**SERGIO FERNANDO QUINTERO AREVALO  
EFRAIN ELIAS MENDOZA ALVAREZ**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de  
ingeniero mecánico.

**Director: Ing. Antonio Saltarín Jiménez**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
Barranquilla  
2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar queremos agradecer a Industria Salinera la oportunidad que nos ha brindado para realizar este proyecto y aprender de él, y al Departamento de Ciencia e Ingeniería Mecánica el permitirnos realizarlo. A nuestros padres, porque siempre han estado con nosotros en la buenas y en las malas incondicionalmente. Y por supuesto al resto de nuestras familias, hermanas, hermanos, primos, tíos y abuelos por vuestra confianza en nosotros. A todos nuestros profesores, desde el colegio hasta la universidad, y en especial al profesor Antonio Saltarín, por todo lo que hemos aprendido gracias a ustedes. A todos nuestros compañeros y amigos de la universidad, porque sin todos ustedes, sus resúmenes, sus consejos, y su ayuda seguro que no estuviéramos escribiendo estas líneas. A todos nuestros compañeros y amigos de ingeniería, porque nos han ayudado a seguir adelante como un grupo y a llevarnos a lograr metas que solos no hubiéramos podido lograr. Gracias.

## RESUMEN

Industria Salinera, con sede central en la ciudad de montería y puntos de venta en todo el país, es una empresa con negocios dedicados a satisfacer las necesidades en el campo de la nutrición humana, animal, fabricando sales para la industria láctea y quesera. También produce diferentes clases de sales minerales, utilizadas como Potencializadores nutraceúticos (alimentación con propiedades farmacéuticas) y balanceadores para el consumo ganadero. Sus procesos de producción se caracterizan por el uso de máquinas de elevación y transporte, mezcladoras y cosedoras, que consumen en promedio 28.810 kWh/mes de energía eléctrica, a un costo de \$8.066.800 al mes. Los costos del consumo de energía eléctrica, se asocian no solo a los niveles de producción, sino que también están asociados a la ineficiencia operacional del proceso. En la empresa solo se cuenta en la actualidad con indicadores de producción que no reflejan la eficiencia o ineficiencia de los procesos a nivel energético y el presupuesto de energía se estima a partir de un porcentaje con respecto a los consumos anteriores sin tener en cuenta los niveles de producción planificados.

El estudio realizado la empresa, consistió en desarrollar una Caracterización Energética a nivel de empresa (incluye todas las áreas productivas). Dicha caracterización se ha desarrollado con información diaria suministrada por personal de la empresa. Los datos de análisis cubren el período comprendido entre el mes de Junio de 2012 hasta el mes de abril de 2013. El objetivo principal

es, determinar potenciales de ahorro energético por optimización operacional, de mantenimiento y producción que permitan la mejora del desempeño energético de la planta. Igualmente hace parte del objetivo de esta caracterización energética, el determinar el nivel de pre-factibilidad de aquellos proyectos de mejora tecnológica que redunden en la optimización energética de los procesos productivos.

Como resultado de este trabajo, se entrega el modelo de control de la eficiencia energética a nivel de empresa, para su posterior seguimiento, se entrega la estructura de indicadores, adecuada para medir el desempeño energético de los procesos y además una metodología para la elaboración y seguimiento del presupuesto de energía.

De acuerdo con la encuesta cualitativa aplicada de las conformidades de la gestión organizacional para la administración energética actual con respecto a la norma ISO 50.001. Se encontró un nivel *Muy Bajo* (<2) de cumplimiento de la norma de gestión energética. Para lo anterior, se hacen un listado de recomendaciones para mejorar respecto a la norma 50001.

Mediante la Caracterización Energética se determinó un potencial de ahorro total de 18,1% del consumo promedio actual para las operaciones de la empresa. A esto le corresponde, un potencial de reducción de emisiones de cerca de 26.676 Kg CO<sub>2</sub>/año. Para la obtención de éstos potenciales de ahorro se identificaron medidas de ahorro tecnológicas y operacionales a implementar.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN _____	14
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO _____	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA _____	16
1.2. JUSTIFICACION _____	17
1.3. OBJETIVOS _____	18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL _____	18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS _____	18
1.4. METODOLOGÍA _____	19
2. MARCO REFERENCIAL _____	21
2.1. MARCO TEÓRICO _____	21
2.1.1. Conceptos sobre caracterización energética de una empresa _____	21
2.1.2. Herramientas conceptuales útiles en una caracterización energética ____	22
2.1.2.1. Diagrama de Pareto _____	22
2.1.2.2. Gráficos de control _____	23
2.1.2.3. Gráficos de consumo y productividad en el tiempo _____	25
2.1.2.4. Grafico de correlación energía- producción _____	26
2.1.2.5. Grafico Índice de Consumo – Producción _____	29
2.1.2.6. Diagrama Causa – Efecto _____	31
2.1.2.7. Gráfico de tendencia o de sumas acumulativas (cusum) _____	33
2.1.3. Elaboración del presupuesto de energía _____	33

2.1.4. Oportunidades más comunes de reducción de consumos energéticos en los procesos y equipos _____	38
2.1.4.1. Oportunidades Operacionales _____	38
2.1.4.2. Oportunidades en Producción _____	39
2.1.4.3. Oportunidades en Mantenimiento _____	39
2.1.4.4. Oportunidades en Coordinación _____	40
3. DESARROLLO DEL PROYECTO _____	41
3.1. PROCESO DE ANÁLISIS INICIAL DE LA EMPRESA _____	41
3.1.1. Diagrama de Flujo del Proceso de lEmpresa _____	42
3.1.2. Aplicación de la Norma ISO 50001 _____	45
3.2. APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE EFICIENCIA A LA EMPRESA _____	47
3.2.1. Grafico de correlación _____	47
3.2.2. Gráficos de comportamiento de energía y producción en función del tiempo _____	48
3.2.3. Comportamiento del índice de consumo con relación a la producción _	58
3.2.3.1. Evaluación de los índices de consumo con respecto a la producción del segundo semestre del 2012 y el primer cuatrimestre del 2013 _____	62
3.2.4. Diagrama de Pareto para los equipos que operan con energía eléctrica _____	65
3.2.4.1. Planteamiento de solución para mejorar eficiencia energética de la mezcladora _____	68
3.2.4.2. Mejoras para el sistema de aire comprimido _____	73

3.3. INDICADORES OPERATIVOS ACTUALES Y PROPUESTOS EN LA EMPRESA _____	76
3.4. IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES DE MEJORA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA _____	77
3.4.1 Potenciales de mejora por reducción de la variabilidad operacional y por planeación de la producción _____	77
3.5. APLICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS ENERGÉTICAS EN LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LA EMPRESA _____	79
3.5.1. Buenas prácticas en eficiencia energética para el sistema de aire comprimido _____	79
3.5.2. Buenas prácticas en eficiencia energética para el sistema de aire acondicionado _____	80
3.6. ESTRATEGIAS RECOMENDADAS PARA INICIAR UN PROCESO DE MEJORA HACIA LA NORMA ISO 50001 _____	82
CONCLUSIONES _____	85
ANÁLISIS DE RESULTADO _____	85
BIBLIOGRAFIA _____	89
ANEXOS	



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Modelo de distribución normal, donde se visualiza la probabilidad de los datos asociados.....	24
Figura 2. Visual de un grafico de producción y energía versus tiempo.....	25
Figura 3. Aspecto de un grafico de correlación energía – producción. ....	28
Figura 4. Gráfico de índice de consumo. ....	31
Figura 5. Visual de aplicación de un diagrama causa – efecto. ....	32
Figura 6. Línea base para el índice de consumo. ....	35
Figura 7. Línea base: $E = m \cdot P + E_0$ .....	36
Figura 8. Diagrama de flujo del proceso para fabricar sal refinada.....	43
Figura 9. Proceso final de empaclado según estándares o requerimientos de los clientes.....	44
Figura 10. Resultados de aplicar la norma ISO 50001. ....	46
Figura 11. Modelos lineales de correlación para los datos totales (línea media) y para los datos debajo de la línea media (línea base).....	47
Figura 12. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de junio 2012. ....	49
Figura 13. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de julio 2012. ....	51
Figura 14. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de agosto 2012. ....	52

Figura 15. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de septiembre 2012. ....	53
Figura 16. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de octubre 2012. ....	54
Figura 17. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de Noviembre 2012. ....	54
Figura 18. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de diciembre 2012. ....	55
Figura 19. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de enero 2013. ....	56
Figura 20. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de febrero 2013. ....	57
Figura 21. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de marzo 2013. ....	57
Figura 22. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de abril 2013. ....	58
Figura 23. IC vs P .....	60
Figura 24. IC según los dos modos de estimarlo para el segundo semestre 2012. ....	63
Figura 25. IC según los dos modos de estimarlo para el primer cuatrimestre 2013. ....	63
Figura 26. Pareto de los equipos de la planta. ....	67
Figura 27. Ajuste por variación de tensión. ....	71

Figura 28. Ajuste por desequilibrio de tensión entre líneas. ....72

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Censo de cargas eléctricas instaladas en la empresa. ....	65
Tabla 2. Mediciones eléctricas sobre el motor eléctrico de la mezcladora. ....	69
Tabla 3. Listado de fugas en el sistema de aire comprimido. ....	74

## LISTA DE SIMBOLOS

CFM: (cubicfoot minutes): pies cúbicos por minuto.

CCE. Centro de costos energéticos.

E. energía

Eo: energía no asociada a la producción.

Er: energía realmente consumida.

Et: energía teórica a consumir.

IC: índice de consumo

ISO: international estándar organization

Kw: kilovatios de potencia

m: consumo energético por unidad producida.

$\eta$ : Eficiencia

P: producción

R: coeficiente de correlación.

S.A.S: sociedad por acciones simplificadas.

## INTRODUCCIÓN

La caracterización energética es una metodología y una tecnología que aplicada formalmente a una empresa, le permite que la misma mejore sus consumos de energía y disminuya la cantidad de emisiones contaminantes. Por lo tanto se tendrán beneficios de tipo económico, administrativo y ambiental cuando se puede realizar el proceso de implementación de mejoras en la eficiencia para el uso de recursos energéticos en múltiples procesos industriales, comerciales y residenciales, entre otros.

la empresa considera la mejora continua de sus procesos de producción, como una estrategia de mejora competitiva, que la ayudará a satisfacer las necesidades de sus clientes, estimular el desarrollo de sus empleados, mantener actualizada la tecnología y alcanzar niveles de rentabilidad en beneficio de sus socios. Por esta razón, decidió acceder a una caracterización energética, con los objetivos de identificar potenciales de ahorro energético por optimización operacional; de mantenimiento y producción, determinando la línea base, determinar a nivel de pre factibilidad aquellos proyectos de mejora tecnológica que redunden en la optimización energética del proceso productivo, establecer la metodología adecuada para la elaboración y seguimiento del cumplimiento del presupuesto de energía dentro de la empresa y determinar cuál es la situación actual de la empresa con relación a la norma ISO 50001. El alcance de éstos objetivos, permitirá a la empresa contar con las herramientas necesarias para incrementar la

eficiencia del proceso, tener un control sobre él energéticamente y reducir los costos de la energía eléctrica.

Este estudio se fundamentó en la metodología de Caracterización Energética y en la aplicación de la Norma ISO 50001 que trata sobre el proceso de implementación de un sistema de gestión de la energía en empresas (Energy Management System), que oficializa su ingreso como norma a partir del 17 de junio del 2011.

## **1. GENERALIDADES DEL PROYECTO**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La empresa la empresa, específicamente el departamento de producción, (encargado del control de los costos operativos), desea reducir la inversión que genera a la empresa el departamento de producción en cuanto al consumo de energía se refiere y por ende se reduzca el costo monetario que este representa para la empresa, para lo cual contempla y presenta un plan estratégico con las siguientes opciones, se observa que el principal recurso energético que maneja la Empresa es la energía eléctrica y se pretende mejorar en el uso de la misma. Por lo que el autor enterado de la situación descrita, se decide plantear a las directivas de producción y mantenimiento de la empresa, realizar un estudio minucioso del uso de la energía eléctrica en la planta, e infiere que el peso en la estructura de costos que esta genera corresponde a un 20 % en promedio a los gastos eléctricos. Después de planteada la opción y de dar una clara explicación de la metodología operativa de la gestión energética y de dar a conocer las mejoras que esta misma aplicación alcanzo en empresas de la misma región que decidieron aplicarla, el gerente de mantenimiento se decide por la opción de la aplicación de la metodología para cuantificar el potencial de mejora en el uso de la energía eléctrica y la factibilidad de las opciones que puedan encontrarse con el estudio a realizar por el autor de este trabajo de grado.

Del anterior planteamiento surge el siguiente interrogante.



¿Por qué medios puede determinarse el potencial de mejora en el uso de la energía eléctrica en la empresa la empresa para tener un proceso de mejora continua en el consumo de recursos energéticos?

## **1.2. JUSTIFICACION**

El proyecto planteado contribuirá al fortalecimiento de la línea de energía que posee el programa de ingeniería mecánica de la universidad autónoma del Caribe, ya que al existir este tipo de trabajo de campo realizado se cuenta con información y datos que podrían facilitar la aplicación de dichos métodos implementados en una futura optimización de la gestión energética en la parte del consumo eléctrico de nuestra institución, además de evidenciar ante el sector industrial, futuro empleador de los egresados sus competencias de ingeniería para resolver problemas propios de las empresas de la región, que deben mejorar su competitividad empresarial a través de mejoras sostenidas de sus procesos productivos y administrativos.

Los resultados del proyecto, apuntan a que la empresa mejore sus competencias de gestión, para que las mejoras que se puedan alcanzar sean sostenibles en el tiempo, lo cual garantiza un proceso continuo, auto dinámico y de calidad.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Aplicar la tecnología de la gestión energética a la empresa **la empresa** para disminuir el consumo y costo de la energía eléctrica y bajar las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Aplicar herramientas conceptuales de la gestión energética para cuantificar los potenciales técnicos de mejora encontrados.
- Desarrollar un análisis de factibilidad económica de las posibles mejoras para priorizar la secuencia de mejora continua a utilizar.
- Proponer un sistema de control para el sostenimiento de las mejoras propuestas.

## **1.4. METODOLOGÍA**

La gestión energética según los objetivos planteados define hasta la realización de una caracterización energética de la planta en estudio, para lo cual se aplica el siguiente plan de trabajo, acorde con los lineamientos de la norma ISO 50001.

### **FASE 1.**

- Realización de recorrido por la planta para conocer el funcionamiento del sistema productivo y levantar un diagrama de flujos del proceso.
- Revisión de recibos de consumo de energía eléctrica disponibles por mes, con las correspondientes producciones mes a mes.
- Entrevistas con operarios y mecánicos para identificar procedimientos operativos.

### **FASE 2.**

- Elaboración de gráficos de correlación de consumo y producción para el periodo analizado.
- Construcción del diagrama de correlación y ecuación lineal correspondiente para la identificación de la energía no asociada a la producción.
- Evaluación de los índices de consumo de energía e identificación del nivel productivo más eficiente energéticamente para la tecnología en uso.

### **FASE 3.**

- Elaboración del diagrama energético productivo.
- Estimación de potenciales de ahorro de energía.

### **FASE 4.**

- Identificación de indicadores energéticos que asocien fielmente el consumo de energía con el nivel productivo.
- Identificación de las variables de control que impactan la eficiencia energética.
- Informe del estado de la gestión organizacional por eficiencia y su condición para en un futuro tener las bases para implementar un sistema de gestión integral de la energía SGIE, con base a la norma ISO 50001.
- Determinación de potenciales de ahorro por reducción de energía no asociada a la producción y por planeación de la producción a nivel de cada área donde exista medición de energéticos.
- Identificación de equipos mayores consumidores de energía eléctrica.
- Diagnóstico energético, de cada una de los mayores consumidores de energía eléctrica.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. MARCO TEÓRICO

#### 2.1.1. Conceptos sobre caracterización energética de una empresa

La caracterización energética de una empresa, es un procedimiento de análisis cualitativo y cuantitativo, direccionado metodológicamente, que permite evaluar la eficiencia con que la empresa administra y usa todos los tipos de energía requeridos en su proceso productivo y además es el paso previo para implementar un sistema de gestión de la energía<sup>1</sup>.

Una de las mayores ventajas de los procedimientos establecidos en la caracterización energética, es que a partir de información generalizada, se puede ahondar en la ineficiencia energética de los procesos y obtener conclusiones técnicas muy importantes y hasta ese momento desconocidas para los d respecto a los potenciales de mejora de los sistemas analizados. Para una caracterización energética típica al menos se requiere la siguiente información, normalmente disponible en cualquier empresa:

- Flujo grama general del proceso productivo de la empresa.
- Consumos energéticos mensuales por factura de los últimos dos años preferible.
- Producción mensual realizada en igual período de tiempo.

---

<sup>1</sup> (campos avella, 2009)

- Un censo de la carga eléctrica y térmica de los equipos que posee la empresa.

La caracterización energética es una de las principales actividades para la implementación del sistema de gestión integral de la energía (SGIE). Esta actividad identifica el estado de la empresa referente a la administración y uso eficiente de la energía. Dicha identificación consiste en la aplicación de herramientas de caracterización para determinar el potencial global de ahorro por reducción de la variabilidad operacional, de la planeación de la producción y de la mejora de la capacidad técnica-organizativa de la empresa

## **2.1.2. Herramientas conceptuales útiles en una caracterización energética**

### **2.1.2.1. Diagrama de Pareto**

El concepto de Pareto o ley del 80 / 20, dice que el 80 % de un resultado se corresponde con el 20 % de los factores causantes del mismo, esto permite priorizar los factores a intervenir en la solución de un problema. El principio de Pareto también aplica para la demanda y los consumos energéticos de una empresa, en este caso el 20% de equipos o áreas o Centros de Costos Energéticos (CCE), generalmente es el responsable del 80% de los consumos o del 80% de la demanda. Este principio nos permite concentrar el control energético sólo en el 20% de las áreas, equipos o CCE realmente críticos. Esto nos permite un considerable ahorro de recursos materiales y humanos de control y monitoreo y además una gran rapidez de detección y corrección de las causas

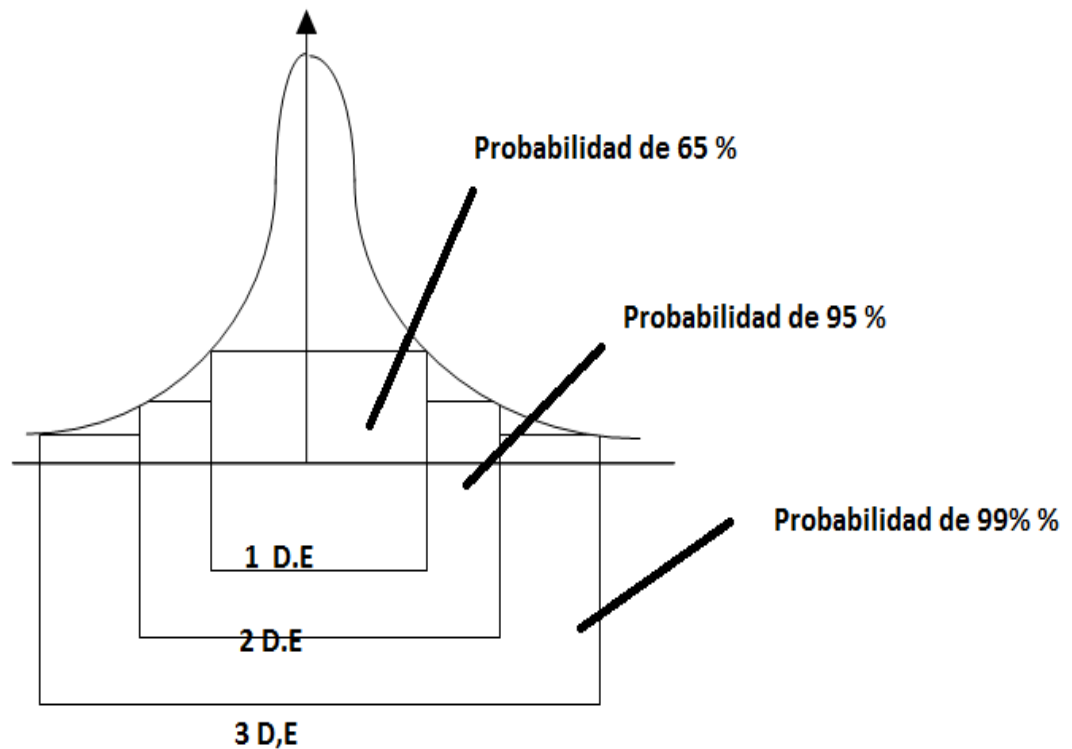
del incremento de los consumos energéticos, de ahí que sea una de las herramientas que se aplica inicialmente de manera global y después progresivamente de manera más estratificada.

#### **2.1.2.2. Gráficos de control**

Los gráficos de control, son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento variable de tipo aleatorio de un resultado que se desea controlar estadísticamente, en función de ciertos límites, establecidos a partir de datos reales de funcionamiento. Se usan como instrumento de autocontrol y resultan muy útiles, como complemento a los diagramas causa y efecto. Sirven para detectar en cuales fases del proceso analizado se producen las alteraciones.

La mayor parte de los procesos productivos, tienen un comportamiento denominado normal desde el punto de vista estadístico, dado que se supone que se ajusta al modelo de distribución normal, es decir existe un valor medio  $M$ , del parámetro de salida muy probable de obtener, y a medida que nos alejamos de este valor medio, la probabilidad de aparición de otros valores de este parámetro cae bruscamente, si no aparecen causas externas que alteren el proceso, hasta hacerse prácticamente cero para desviaciones superiores a tres veces la desviación estándar ( $3\sigma$ ) del valor medio como muestra la figura 1, aquí el modelo de distribución normal se muestra, donde se visualiza la probabilidad de los datos asociados con rangos definidos en función de un valor medio y de desviaciones estándar simétricas.

Figura 1. Modelo de distribución normal, donde se visualiza la probabilidad de los datos asociados.



Fuente: autor.

Las ecuaciones para calcular los parámetros de la distribución para el valor medio y la desviación estándar son:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Ecuación 1.



$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 2.

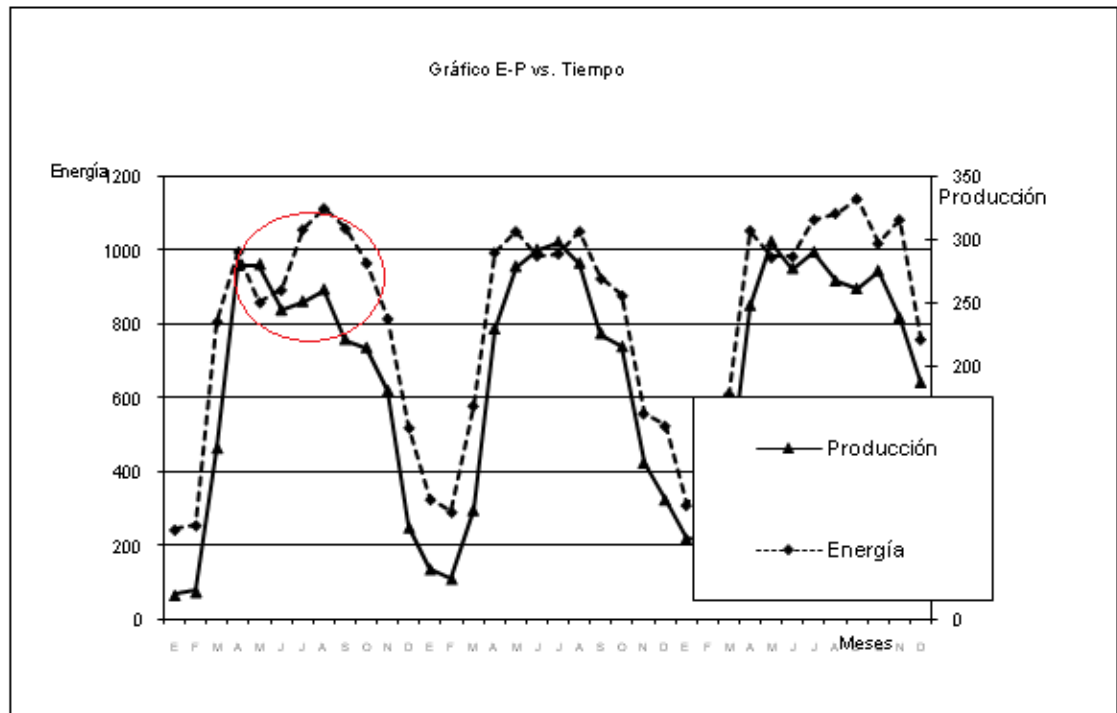
### 2.1.2.3. Gráficos de consumo y productividad en el tiempo

Consiste en un gráfico que muestra la variación simultánea del consumo energético con la producción realizada en el tiempo. El gráfico se realiza para cada portador energético importante de la empresa y puede establecerse a nivel de empresa, área o equipos. La figura 2 muestra el aspecto de un gráfico de este tipo.

#### Utilidad de los gráficos E-P vs. T:

- Muestra períodos en que se producen comportamientos anormales de la variación del consumo energético con respecto a la variación de la producción, como los señalados en la figura 2 con círculos.
- Permite identificar causas o factores que producen variaciones significativas de los consumos.

Figura 2. Visual de un gráfico de producción y energía versus tiempo.



Fuente. Empresa Unibol.

#### 2.1.2.4. Gráfico de correlación energía- producción

Para las empresas industriales y de servicios, realizar un diagrama de dispersión de la energía usada por mes u otro período de tiempo con respecto a la producción realizada o los servicios prestados durante ese mismo período revela importante información sobre el proceso.

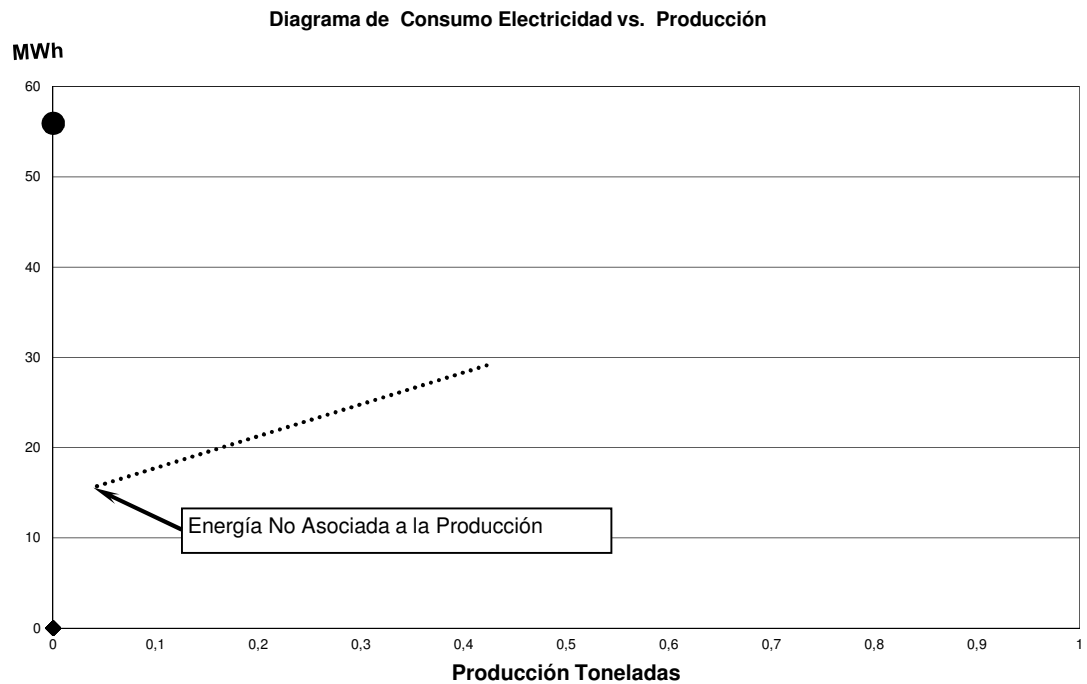
Este gráfico de E vs. P puede realizarse por tipo de portador energético, por tipo áreas, por tipo de equipos u otros criterios, considerando en cada caso la producción asociada al portador en cuestión. La relación más acostumbrada es la de portador energético como sería el caso de la energía eléctrica relacionada con

la producción obtenida. Por ejemplo: una fábrica de helados graficará el consumo de combustible o electricidad versus las toneladas de helados producidas, mientras que en un hotel turístico se puede graficar el consumo de electricidad o de gas versus los cuartos-noches ocupados. La figura 3, muestra una aplicación de este tipo de gráficos.

### **Utilidad de los Diagramas E vs P:**

- Determinar en qué medida la variación de los consumos energéticos se deben a variaciones de la producción.
- Mostrar si los componentes de un indicador de consumo de energía están correlacionados entre sí y por tanto si el indicador es válido o no.
- Establecer nuevos indicadores de consumos o costos energéticos.
- Determinar la influencia de factores productivos de la empresa sobre los consumos energéticos y establecer variables de control.
- Identificar el modelo de variación promedio de los consumos respecto a la producción.
- Determinar cuantitativamente el valor de la energía no asociada a la producción.

Figura 3. Aspecto de un gráfico de correlación energía – producción.



$$E = 0.5106P + 55.975 \quad R^2 = 0.8769$$

Fuente: Empresa avícola local (Ver archivo adjunto de Excel).

Para utilizar efectivamente el anterior gráfico, debe crearse uno equivalente que sirva como línea de base o referencia, de tal manera que pueda evaluarse la situación actual y la futura, de tal modo que se visualicen las mejoras que se alcancen con la aplicación de la gestión energética. La línea base se obtiene eliminando todos los puntos por encima de la línea promedio y después realizando el ajuste por mínimos cuadrados de los datos restantes. En la figura 3, E es la energía asociada al nivel de producción P. La pendiente de la línea es el nivel tecnológico usado y la intersección de la línea recta con el eje de energía, llamada

$E_o$  es la energía no asociada a la producción. La mejora por reducción de energía no asociada a la producción se logra por identificación y eliminación o ajustes de costumbres operacionales ineficientes, sin tener que cambiar la tecnología de producción, por lo cual se resuelve con medidas de mejora organizacionales. Los siguientes puntos deben quedar como guía para el personal de la empresa.

- Lo que es posible reducir sin cambios tecnológicos es la energía no asociada a la producción.
- Se reduce su valor y se mejora disminuyendo las causas que provocan variabilidad en la eficiencia media del proceso<sup>2</sup>.
- Su potencial de reducción potencial se estima a partir de alcanzar una diferencia entre su valor actual y uno futuro menor, correspondiente a mejoras operacionales.

$$E = m * P + E_o ; E_{mo} = m * P + E_{omo} \quad \text{Ecuación 3.}$$

$E_{mo}$ : Modelo de consumo para las mejores operaciones

$E_{omo}$ : Energía no asociada de las mejores operaciones

Potencial de reducción en energía no asociada a la producción =  $E_o - E_{omo}$

#### 2.1.2.5. Gráfico Índice de Consumo – Producción

Este diagrama se realiza después de haber obtenido el gráfico E vs. P y la ecuación,  $E = mP + E_o$  con un nivel de correlación significativo (igual o mayor a

---

<sup>2</sup> (Tecnologías para el manejo de la información energética en la empresa)

0.75). El gráfico IC vs. P es una línea curva con asíntota en el eje x. La expresión de la curva se obtiene de la siguiente forma:

$$E = mP + E_0$$

$$IC = E/P = m + E_0/P$$

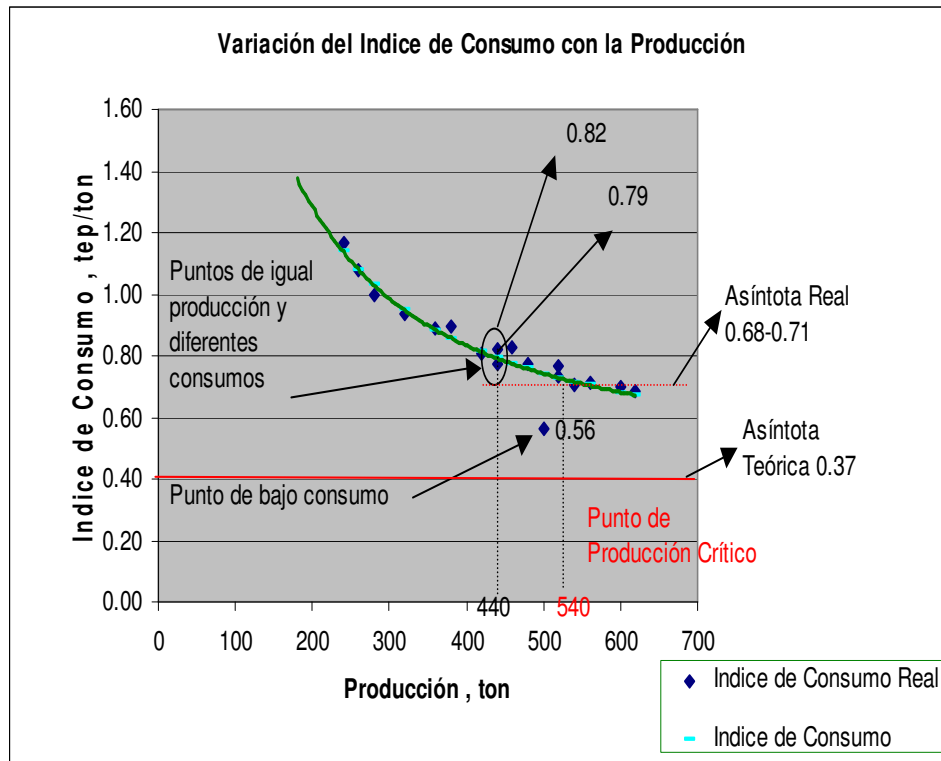
$$IC = m + E_0/P.$$

Ecuación 4.

La curva de la figura 4, muestra que el índice de consumo depende del nivel de la producción realizada. En la medida que la producción se reduce debe disminuir el consumo total de energía, como se aprecia de la expresión  $E=f(P)$ , pero el gasto energético por unidad de producto aumenta. Esto se debe a que aumenta el peso relativo de la energía no asociada a la producción respecto a la energía productiva. Si la producción aumenta, por el contrario, el gasto por unidad de producto disminuye, pero hasta el valor límite de la pendiente de la ecuación  $E=f(P)$ . En cada gráfico IC vs. P, existe un punto donde comienza a elevarse significativamente el índice de consumo para bajas producciones. Este punto se puede denominar punto crítico. Producciones por encima del punto crítico no cambian significativamente el índice de consumo, sin embargo, por debajo del punto crítico este se incrementa rápidamente y con ello la ineficiencia operativa.

Para propósitos de cálculos y estimados se tiene valor del índice de consumo que pueden ser valores promedios utilizados por la dirección de la mayoría de las empresas en nuestro medio, pero que es un indicador no válido por no tener la capacidad de reflejar el impacto de mejoras en la eficiencia operacional. Por esto se utilizara el indicador de consumo en función de la producción realizada.

Figura 4. Gráfico de índice de consumo.



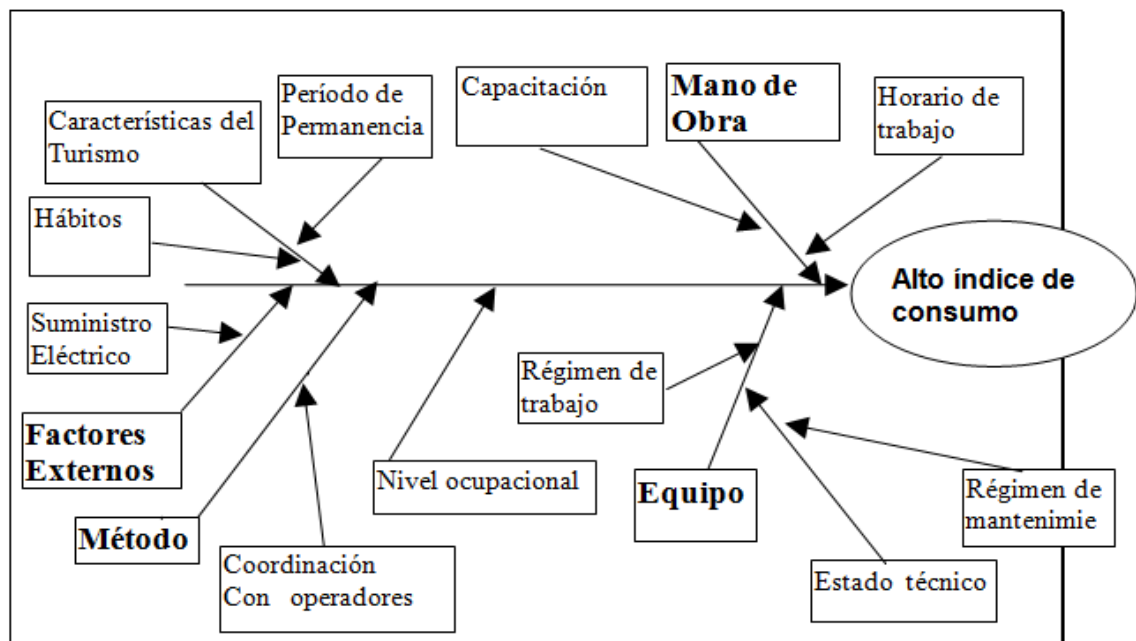
Fuente: Campo A. Tecnologías para el manejo de la información.

### 2.1.2.6. Diagrama Causa – Efecto

El diagrama causa y efecto se conoce también con el nombre de gráfico de Ishikawa por ser quien lo diseñó en 1953, también es denominado diagrama espina de pescado. Su valor principal es que representa de forma ordenada todos los factores causales que pueden originar un efecto específico. El principio del diagrama consiste en establecer que el origen o causa del efecto puede encontrarse en: los materiales, el método, el equipo o la mano de obra. Si algún elemento fundamental no puede clasificarse dentro de estas cuatro categorías, deberá añadirse por separado. A su vez cada uno de estos factores es afectado

por otros. La figura 5 presenta una visual de este diagrama. Por ejemplo el factor mano de obra es afectado por: número de trabajadores, capacitación, supervisión, condiciones ambientales. También cada uno de ellos está influido por otros y algunos de estos por otros más. El diagrama puede llegar a ser muy complejo, lo que significa una mayor comprensión del problema por las personas que participen en su elaboración.

Figura 5. Visual de aplicación de un diagrama causa – efecto.



Fuente: De Armas M. Herramientas de la calidad. Documento del diplomado en gestión energética. Uniatlántico. 2004.



### **2.1.2.7. Gráfico de tendencia o de sumas acumulativas (cusum)**

Este gráfico se utiliza para monitorear la tendencia de la empresa en cuanto a la variación de sus consumos energéticos, con respecto a un período base dado. A partir de él también puede determinarse cuantitativamente la magnitud de la energía que se ha dejado de consumir o se ha sobre consumido hasta el momento de su actualización.

Si el proceso se mantiene bajo control en el objetivo  $\mu_0$ , la suma acumulable  $S_m = \sum(X_i - \mu_0)$  variará aleatoriamente respecto del valor de referencia. Sin embargo, si la media asciende a  $\mu_1 > \mu_0$  se apreciará una tendencia ascendente en la suma acumulada  $S_m$ . Por el contrario, si la media se desplaza a  $\mu_2 < \mu_0$  se apreciara una tendencia decreciente en  $S_m$ . Por consiguiente, una tendencia determinada (positiva o negativa), se considerará como una evidencia de que la media del proceso se ha desplazado debido a la presencia de alguna causa asignable aun no conocida que hay que investigar y eliminar. Po está es una herramienta para alertar sobre alteraciones a un comportamiento con variabilidad aleatoria que queremos mantener bajo control.

### **2.1.3. Elaboración del presupuesto de energía**

Tradicionalmente los presupuestos de energía anual y mensual, se estiman con las ecuaciones:

*Energía presupuesta anual en dinero*

*= IC promedio \* Producción presupuestada anual*

*\* tarifa estimada de energía para el año.*

Ecuación 5

*Energía presupuestada mensual en dinero*

*= IC promedio*

*\* Producción presupuestada mensual tarifa estimada de energía*

Ecuación 6

Un presupuesto elaborado de la anterior manera, tiene las siguientes características:

1. Está considerando que el IC es constante independientemente del nivel de producción realizado, sin embargo este varía significativamente con P 8 producción).
2. No tiene en cuenta la capacidad de eficiencia del proceso para los diferentes niveles de producción realizados.
3. Se puede estar planificando un consumo de energía anual o mensual inalcanzable o muy superior al que realmente puedo lograr.

En todos los casos anteriores, el presupuesto será un valor poco coincidente con lo ocurrido en la realidad y por lo tanto es una herramienta de poco valor para el control de la eficiencia energética.

¿Cómo se debe elaborar el presupuesto de consumo de energía anual de la empresa o procesos?<sup>3</sup>

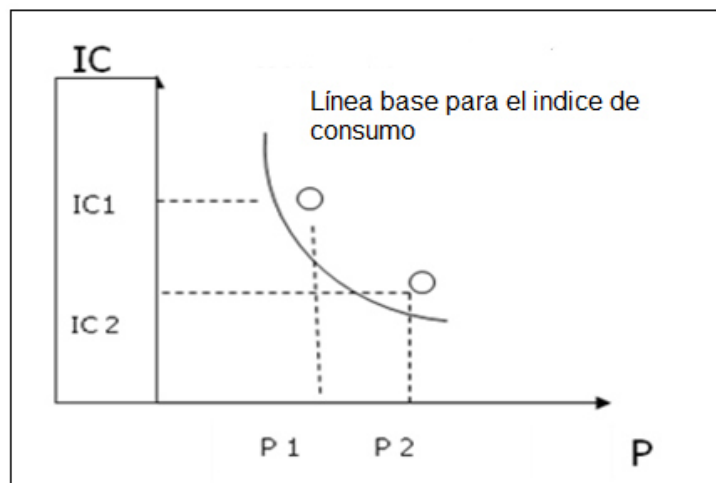
1. Debe conocerse la capacidad de eficiencia de mi proceso para diferentes niveles de producción:  $IC = m + \frac{Eo}{P}$
2. Debe conocerse el valor de producción de cada mes planificado para el año.
3. Debe hallarse mediante la ecuación  $IC\ mes = m + \frac{Eo}{P} mes$ , el valor de eficiencia posible alcanzar y con ello hallar el valor de consumo posible alcanzar, para ello es de utilidad la ecuación 6 :

$$Eo\ mes = IC\ mes * P\ mes.$$

Ecuación 7

4. Deben sumarse todos los valores de consumo mensual presupuestados para hallar el valor presupuestado anual:  $E\ año = Suma\ de\ Eo\ mes\ (i)$ .
5. Con los datos anteriores, crear la línea base de consumo como muestra la figura 6.

Figura 6. Línea base para el índice de consumo.



<sup>3</sup> (Tecnologías para el manejo de la información energética en la empresa)

Fuente: *Tecnologías para el manejo de la información en la empresa*

Se puede realizar una manipulación matemática como se muestra a continuación para llegar a la ecuación 7.

$Er_1 - Er_2 = (Er_1 - Et_1) - (Er_2 - Et_2) + m * (Pr_1 - Pr_2)$ , Donde  $Er_1$  y  $Er_2$  es la energía real para la producción 1 y 2 respectivamente.  $Et_1$  y  $Et_2$ , es la energía teórica obtenida del gráfico de correlación para esos niveles de producción como muestra la figura 8.

Si  $Er_2 = Ep$  (el punto está sobre la línea base).

Transformando se llega a la ecuación 7.

$$Er_1 - Ep = (Er_1 - Et_1) + m * (Pr_1 - Pp_1) \quad \text{Ecuación 8}$$

Dónde:

$m * (Pr_1 - Pp_1)$ , equivale a la variación del presupuesto por producción

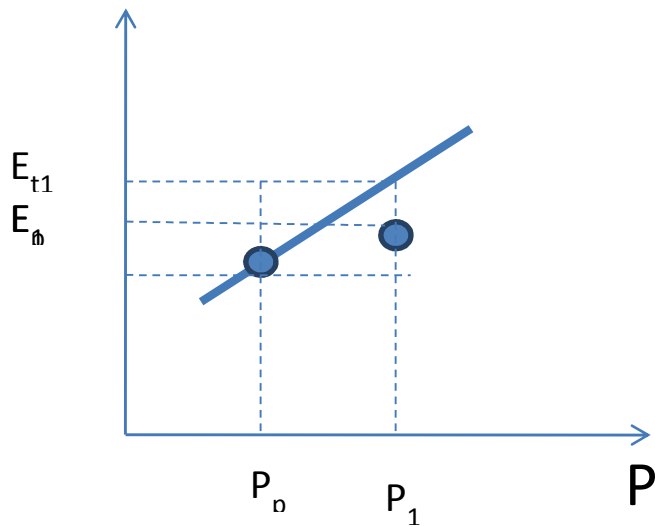
$(Er_1 - Et_1)$ , equivale a la variación del presupuesto por eficiencia

La sumatoria: Suma  $(Eri - Eti)$  es la tendencia de la variación del presupuesto de energía. (Coincide con gráfico de tendencia)<sup>4</sup>

Figura 7. Línea base:  $E = m * P + Eo$

---

<sup>4</sup> (Tecnologías para el manejo de la información energética en la empresa)



*Fuente: Tecnologías para el manejo de la información en la empresa*

$$E_1 - E_p = (E_{t1} - E_p) - (E_{t1} - E_1)$$

$$E_1 - E_p = (m \cdot P_1 + E_0 - m \cdot P_p - E_0) + (E_1 - E_{t1})$$

$$E_1 - E_p = m \cdot (P_1 - P_p) + (E_1 - E_{t1})$$

$m \cdot (P_1 - P_2)$  - variación por producción

$(E_1 - E_{t1})$  - variación por eficiencia.

Si el punto 2 estuviera sobre la línea base y fuera el valor presupuestado:

$$E_1 - E_p = (E_1 - E_{t1}) + m \cdot (P_1 - P_p)$$

Si el punto 1 estuviera sobre la línea y fuera el valor presupuestado:

$$E_2 - E_p = (E_2 - E_{t2}) + m \cdot (P_2 - P_p)$$

## **2.1.4. Oportunidades más comunes de reducción de consumos energéticos en los procesos y equipos**

### **2.1.4.1. Oportunidades Operacionales**

- Uso de equipos más eficientes
- Regulación de parámetros de operación estándar.
- Manejo de cargas de ventilación
- Reducción de Cargas en vacío
- Reducción de tiempos de arranque
- Cambios en la secuencia de arranque
- Reducción de tiempo de preparación y ajuste de equipos
- Cambio de velocidad de procesos.
- Registros proactivos de trabajo. (Auto auditoría)
- Condiciones de trabajo
- Acomodos de cargas operacionales
- Evaluación de alternativas de operación
- Uso mínimo de equipos
- Manejo de cargas de acondicionamiento
- Manejo de cargas de iluminación
- Reducción de tiempos de producción
- Cambio de método de trabajo – eliminación de procedimientos innecesarios
- Otras

#### **2.1.4.2. Oportunidades en Producción**

- Uso de líneas de producción de menor consumo energético
- Sustitución de materias primas
- Reducción de pasos de proceso productivo
- Combinación de pasos de proceso
- Reducción de retrasos
- Reducción de reprocesos
- Planear la producción a la rata mayor de equipos y procesos
- Cuellos de botella
- Cambios frecuentes de producción
- Paso de producción por baches a continuas
- Reducción del tiempo total del ciclo del producto
- Uso de la gravedad en el transporte de productos
- Automatización parcial o total de la producción
- Reducción de espacios de fabricación
- Impacto del medio ambiente en la producción
- Evaluación de alternativas productivas
- Otras

#### **2.1.4.3. Oportunidades en Mantenimiento**

- Coordinación de tiempos de mantenimiento

- Equipos de alta frecuencia de averías sin standby
- Baja calidad de la energía térmica y eléctrica
- Desconocimiento del operador para prevenir fallas de mantenimiento
- Falta de prioridades de mantenimiento
- Frecuencia de averías de equipos
- Tiempo de reparación de averías y consumo en vacío
- Estado técnico de equipos
- Falta de instrumentación o instrumentación dañada
- Equipos limitados en capacidad
- Otras

#### 2.1.4.4. Oportunidades en Coordinación

- Coordinación con área de mantenimiento
- Coordinación con laboratorio
- Coordinación interna del área
- Comunicación de picos y valles al área de servicios
- Coordinación con áreas productivas precedentes
- Coordinación con áreas productivas posteriores
- Coordinación entre turnos de trabajo (entrega de turnos)
- Otras



### 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

#### 3.1. PROCESO DE ANÁLISIS INICIAL DE LA EMPRESA

La empresa **la** empresa es una empresa con más de 20 años de existencia, ubicada en el municipio de Uribía departamento de la Guajira. Actualmente **la** empresa. es el único productor de sal marina en Colombia del sector privado que cuenta con una planta de lavado de sal, la cual genera un valor agregado a las características y calidad de nuestros productos, **BRINDÁNDO CON ESTO PUREZA "GRANO A GRANO"**.

La empresa tiene participación en el mercado nacional con las reconocidas marcas: **SAL CRISTAL** (Consumo Humano), **TINTUSAL** (Industria Textil), **SALMIGAN** (Sales Mineralizadas) **Y SALES INDUSTRIALES**.

La empresa maneja un turno de producción, que tiene los siguientes horarios:

Para el personal de producción, se tiene un solo para todos los trabajadores así:

Lunes a Viernes: De 7:00am a 5:30pm

Sábados: De 7:00am a 12:30pm

Ocasionalmente se pueden realizar nocturnos, según requerimientos de producción.

Para el personal de oficinas, se labora en el siguiente horario:

Lunes a Viernes: De 7:30am a 5:30pm

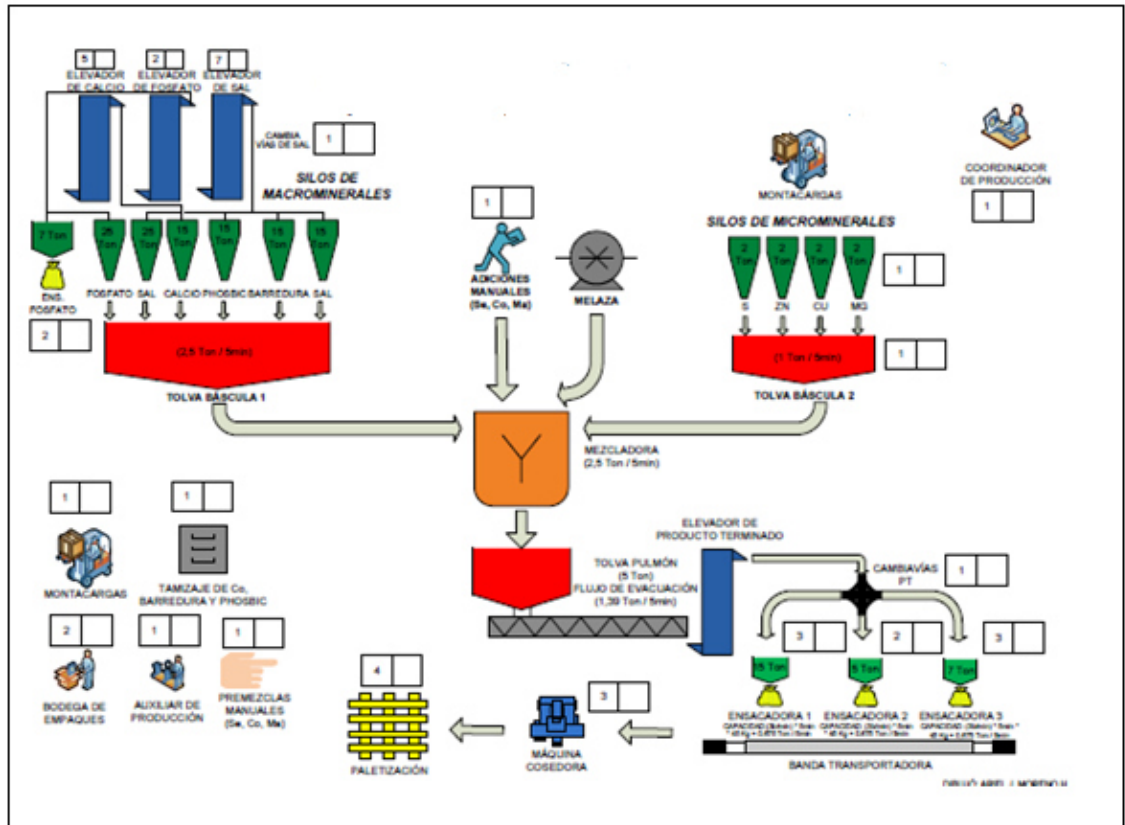
Sábados: De 8:00am a 11:00am

Los domingos y los días festivos, no se labora ni en producción, ni en oficinas.

### **3.1.1. Diagrama de Flujo del Proceso de la Empresa**

Un primer paso en la gestión eficiente de la energía es la caracterización, la cual en este caso se inicia con la construcción del diagrama de flujo del proceso a analizar, mostrado en la figura 9. La fabricación de productos con base en sal mineral, utilizada fenómenos físicos de mezclado de materiales, algunos sólidos granulados como fosfato, calcio y sal mineral. Otros líquidos y semilíquidos la melaza, los cuales deben medirse en exactas proporciones exactas aseguradas por métodos de pesado y luego llevadas a las mezcladoras. Dado que la mayoría de equipos usados son de impulsión eléctrica, la mejora de la eficiencia energética se enfatiza en la energía eléctrica.

Figura 8. Diagrama de flujo del proceso para fabricar sal refinada.



Fuente: empresa.

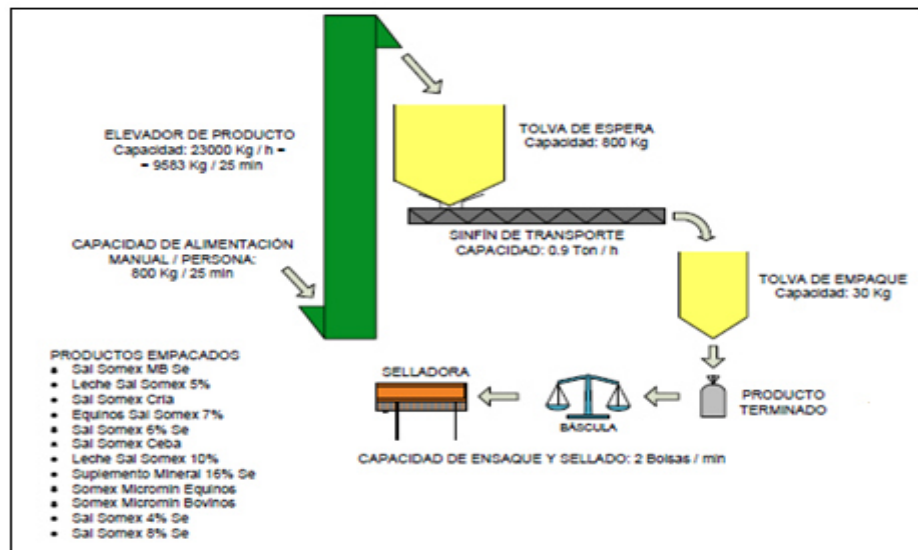
El proceso productivo de la planta, está compuesto de tres etapas:

1. Alimentación: Las materias primas son pesadas y alimentadas a una pre-limpiadora y de ésta pasan al elevador de materias primas, el cual descarga en la tolva de espera. Esto implica que la dosificación se realiza manualmente, pues el bache<sup>5</sup> se pesa antes de alimentar.

<sup>5</sup>Usualmente, el bache en planta pesa 1.000kg

2. Mezclado: Aquí en la mezcladora, se procesa el material recibido de la tolva de espera, las adiciones manuales y la melaza inyectada por tuberías internas en la mezcladora.
3. Ensaque: El bache cae a la tolva de producto terminado y a través del sinfín de ensaque se evacúa el producto, se ensaca<sup>6</sup>, se pesa manualmente y se paletiza.
4. Existe un proceso final de empaclado, adicional al anterior, que se muestra en la figura 10. Aquí no se mezclan productos ni insumos, sólo se empaclan productos a pedidos de clientes o los estandarizados, que se convierten de sacos de 50 kg a bolsas de 1 kg. La secuencia es la siguiente:

Figura 9. Proceso final de empaclado según estándares o requerimientos de los clientes.



Fuente: empresa.

<sup>6</sup>Los sacos pueden ser de 10, 20, 40 ó 50 kg.

- Alimentación: Se adicionan sacos de 50kg en la boca del *elevador de alimentación*, y de éste el producto pasa a la *tolva de espera*.
- Dosificación: De la tolva de espera, el material pasa al *sinfín de dosificación*, que es manejado por un controlador de proceso.
- Ensaque: Del sinfín de dosificación, el producto cae a la *tolva de empaque* donde se evacúa en bolsas de 1kg, las cuales se vuelven a pesar, se sellan y se empaacan en cajas de 30 kg.

### **3.1.2. Aplicación de la Norma ISO 50001**

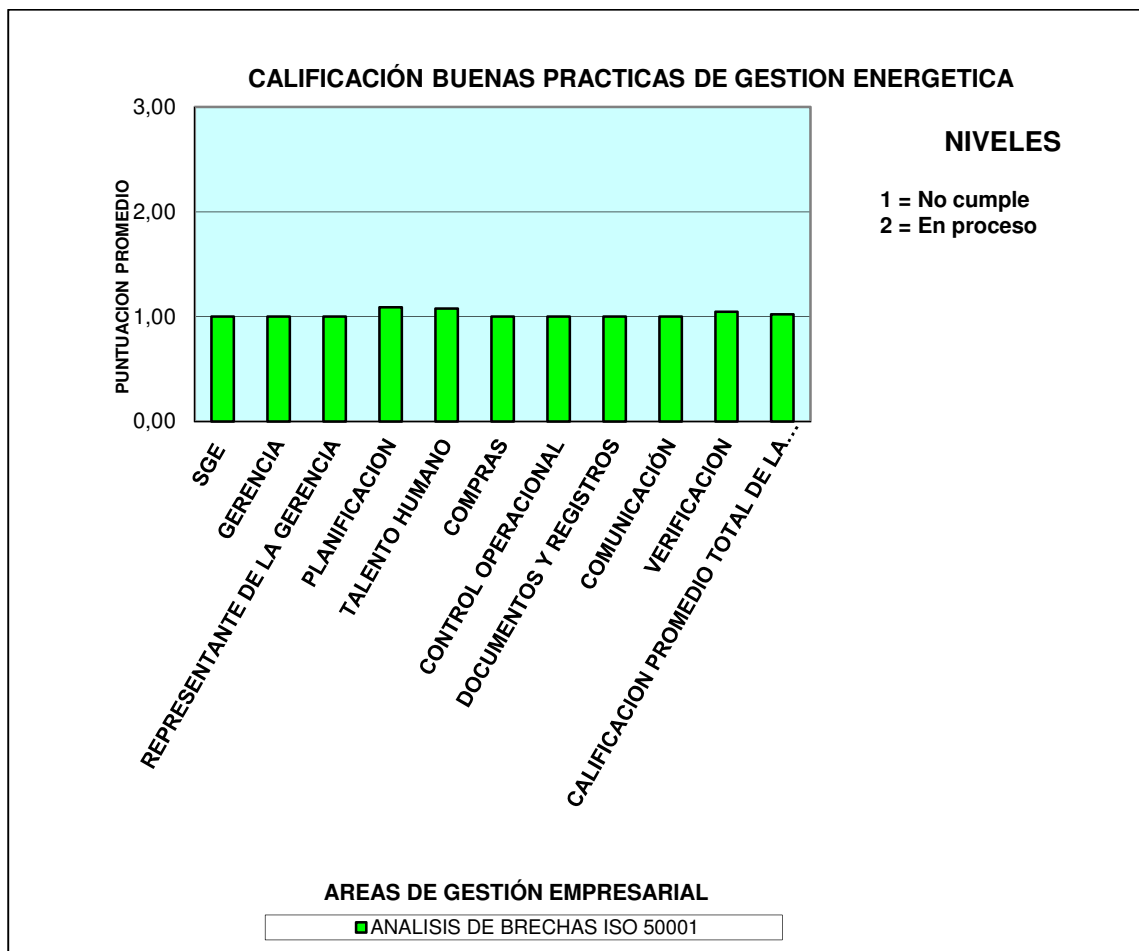
La norma ISO 50001 se crea con la finalidad que los gestores energéticos cuenten con una metodología para iniciar, implementar y controlar sistemas de de gestión energética en las empresas. Al inicio se aplica una encuesta dada por la norma, sobre varios sectores de la empresa. La encuesta se pide a personal de diversos niveles que la respondan según las vivencias al interior de la empresa y los resultados se organizan y muestran en forma gráfica, indica como la figura 10.

Los resultados e califican en una escala del 1 al 5, donde 1 la empresa no cumple con los niveles mínimos que requiere un control eficiente de la energía y debe iniciar un proceso de cambio y mejora, a través de aplicar una caracterización energética, que se realiza con ayuda de las herramientas de gestión energética explicadas en el marco teórico.

La calificación de 5, indica que la empresa posee un control robusto sobre el uso eficiente de sus recursos energéticos primarios, secundarios y terciarios en todos sus niveles.

Para la empresa la calificación promedio fue de 1.1 indicando que la misma debe iniciar su proceso de mejora hacia mayor eficiencia energética.

Figura 10. Resultados de aplicar la norma ISO 50001.



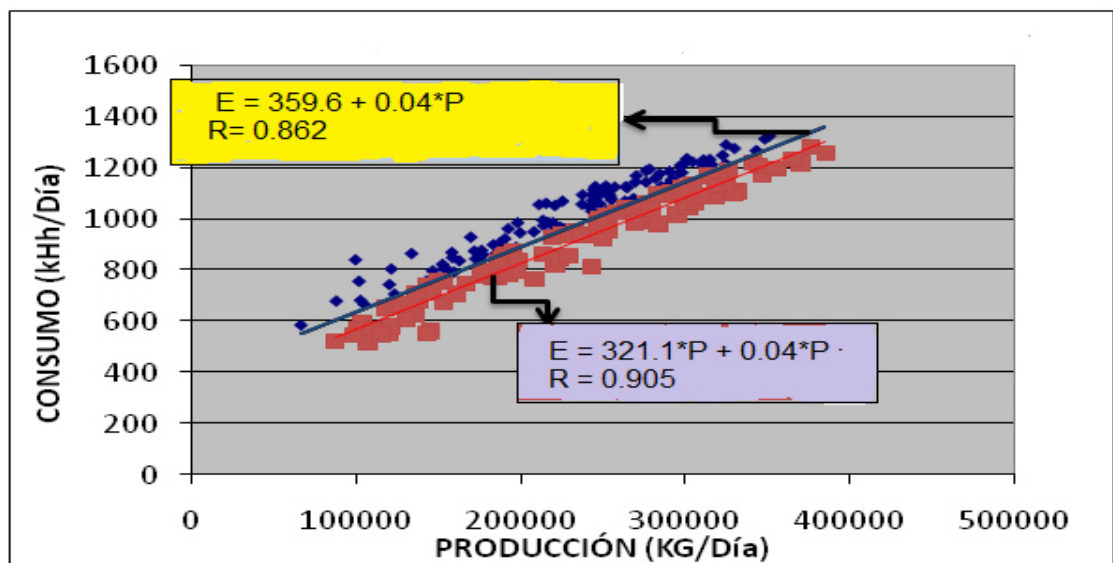
Fuente: autores.

## 3.2. APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE EFICIENCIA A LA EMPRESA

### 3.2.1. Gráfico de correlación

Para realizar el gráfico de correlación de energía versus producción, se toman datos mensuales desde el mes de junio de 2012 hasta abril de 2013, cubriendo un periodo de 10 meses. Se sabe que para mejor confiabilidad del modelo deben ser al menos dos años, pero lo que la empresa entrega como recibos confiables solo cubre el periodo citado y con este se trabajará. La figura 11 muestra el resultado de la correlación realizada y puede decirse:

Figura 11. Modelos lineales de correlación para los datos totales (línea media) y para los datos debajo de la línea media (línea base).



Fuente: autores.

- Se observa de las correlaciones anotadas que los coeficientes de correlación  $R$ , están por encima de 0.8 (80%). Esto indica que las relaciones entre consumo de energía y producción son fuertes y el modelo puede usarse para propósitos de predicción.
- La ecuación  $E = 359.6 + 0.04 * P$  se obtiene usando todos los datos y la llamamos ecuación de comportamiento promedio.
- La ecuación  $E = 321.1 + 0.04 * P$  se obtiene usando solo los datos por debajo de la línea promedio y la denominaremos línea meta. Obsérvese que la diferencia  $359.6 - 321.1 = 38.5$  Kw h / día y con 25 días de operación promedio, se tendrá un ahorro económico de 962.5 Kw H / mes, que en dinero es \$ 250.000 / mes, con solo mejorar las practicas operacionales.
- El valor 0.04 representa el incremento en consumo de energía por cada kilo adicional que se produzca. Es un valor para comparación de tecnologías de producción (benchmarking).

### **3.2.2. Gráficos de comportamiento de energía y producción en función del tiempo**

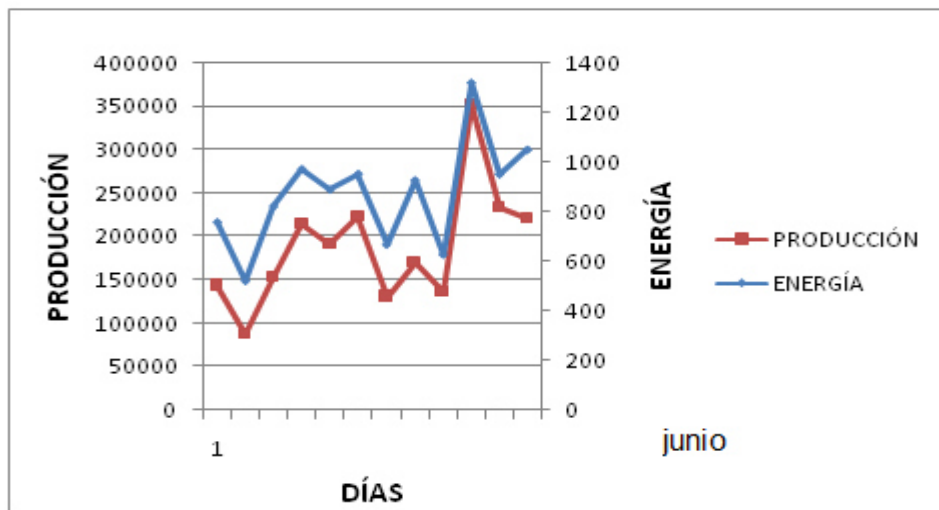
Con los datos de energía y producción mes a mes disponibles, se construyen puntos que se conectan por tramos rectos para visualizar las tendencias de comportamiento y observar si las tendencias son lógicas ( a mayor producción más consumo y lo contrario) o son anormales, lo cual indicaría la existencia de factores adicionales o hechos excepcionales, que deben conocerse y ajustarse



para retomar el control energético eficiente. Los resultados mes a mes se muestran en las figuras de este numeral.

La figura 12, muestra el comportamiento de la energía y la producción día a día para el mes de junio 2012.

Figura 12. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de junio 2012.



Fuente: autores.

*Para el mes de junio se puede ver claramente que los primeros días del mes, tanto la producción como el consumo energético son bajos y a medida que se aproxima a la mitad y el fin de mes las dos variables, tienden a aumentar. Esto se debe a que por lo regular, la primera semana de todos los meses se trabaja en un solo turno (8 horas de producción diarias) y el resto del mes se trabaja en dos turnos (16 horas de producción diarias).*

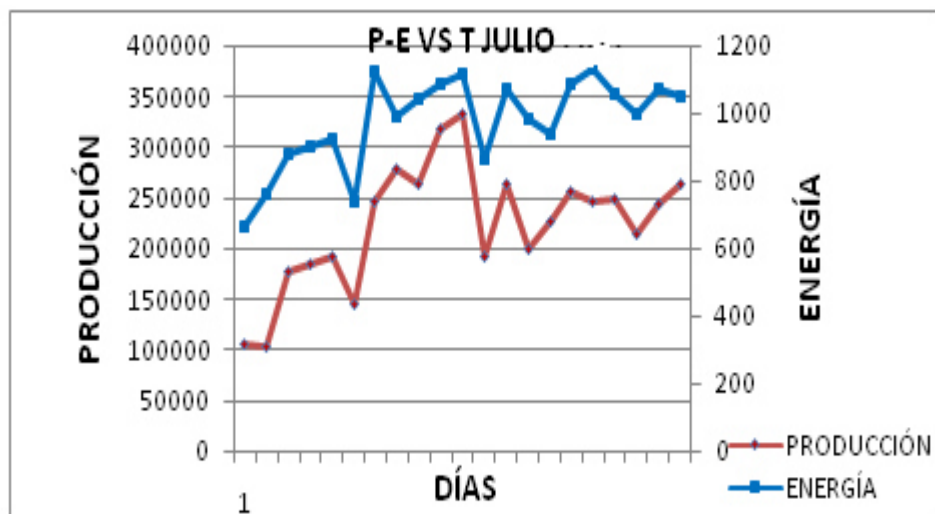
El gráfico nos muestra una correlación buena entre las dos variables analizadas (producción y energía), pues cuando la producción aumenta, la energía aumenta y cuando la producción disminuye, la energía también lo hace. Existe un tramo donde para un mismo nivel de producción (aproximadamente), se visualiza desigual consumo de energía, aunque la diferencia no es muy alta. Esto se debe a que se realizan trabajos de mantenimiento nocturno (consumo adicional por iluminación), usando equipos de soldar de tipo eléctrico que aumentan el consumo correspondiente. Este comportamiento que a primera vista parece inusual, se presenta esporádicamente, cada vez que se realizan mantenimientos en las condiciones anteriormente mencionadas y se atribuye a energía no asociada a producción.

*Para el mes de julio en la figura 13, se puede observar la correlación existente entre la producción y la energía consumida en este mes, pues en general se mantiene la correspondencia entre el aumento y la disminución entre las variables. También se aprecia, cómo la producción al inicio del mes es la más baja (debido a lo explicado en el mes anterior) y a medida que llega la mitad y el fin de mes, tanto la producción como la energía aumentan en proporciones correspondientes.*

En este mes se visualiza un comportamiento inusual en unos puntos. Se puede observar que la producción comienza a aumentar y el correspondiente consumo de energía baja, lo cual no es esperado. La explicación posible para este evento inusual, que de hecho ocurrió dos veces, es que el vatímetro usado para medir la

energía consumida se pega por efectos ambientales corrosivos. Por esto se tuvo el cuidado de limpiarlo con frecuencia de dos dias para evitar en lo posible datos erroneos.

Figura 13. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de julio 2012.

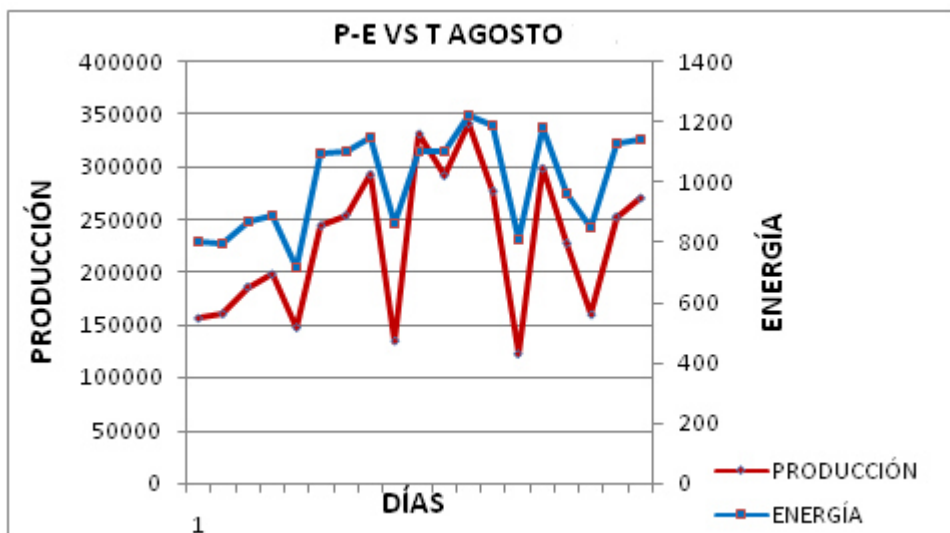


Fuente: autores.

Para el mes de agosto de la figura 14, se observa como la energía está asociada a la producción en términos generales, pero hay una diferencia notable respecto a los meses anteriores: a mitad y a finales de mes se observan tres descensos bruscos en la producción, lo cual también se ve reflejado en el consumo energético. Probablemente estos valles se dieron a consecuencia de algún daño en una de las máquinas principales en el proceso lo cual afecta la producción

general de la empresa. Y como se explico para el mes de junio en los trabajos de mantenimiento cuando la produccion estuvo parada el consumo de energia aumento y este al mismo tiempo siguio tomando valores en la medision por ende este tipo de comportamientos en las graficas, pero por lo general se ve reflejado el mismo patron de comportamiento en todas las graficas, que a medida que la pruduccion aumenta el consumo de energia tambien lo hace lo que nos da a reflejar una relacion directamente proporcional, conciertos puntos criticos donde las variables se ven alteradas por lo antes ya mencionado.

Figura 14. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de agosto 2012.

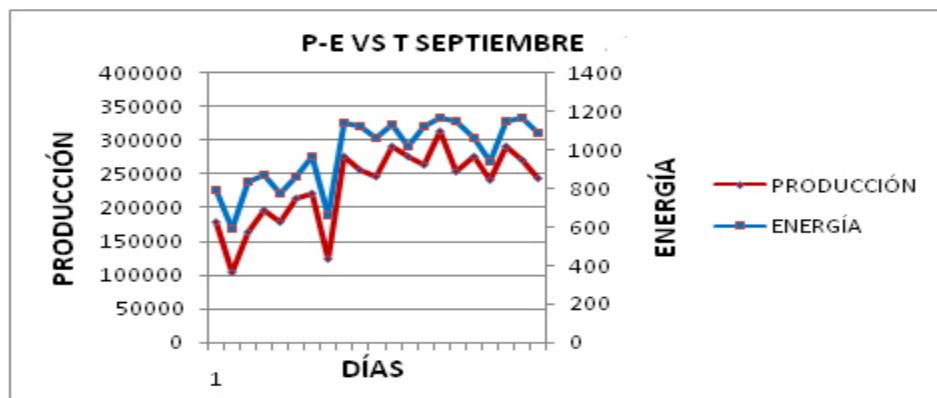


Fuente: autores.

Para el mes de septiembre en la figura 15, el movimiento de las variables se puede decir que es constante, puesto que conforme pasan los días, la energía y la

producción van en aumento y en los últimos días tienden a caer un poco. Si bien notamos que el consumo de energía nos presenta una especie de parábola es debido a lo antes mencionado de trabajos de mantenimiento.

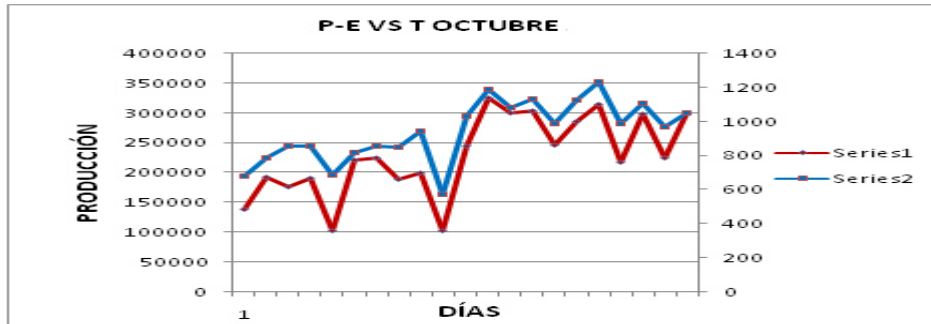
Figura 15. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de septiembre 2012.



Fuente: autores.

*Para el mes de octubre en la figura 16, observa una baja producción hasta mediados del mes, donde se tiene un pico súbito que lleva al aumento de la producción en más de 300%, para luego tener una leve caída y terminar el mes con valores altos de energía y producción. Recordando que los valores fueron tomados día a día y que los respectivos medidores no dejaron de funcionar así la producción estuviera en sece.*

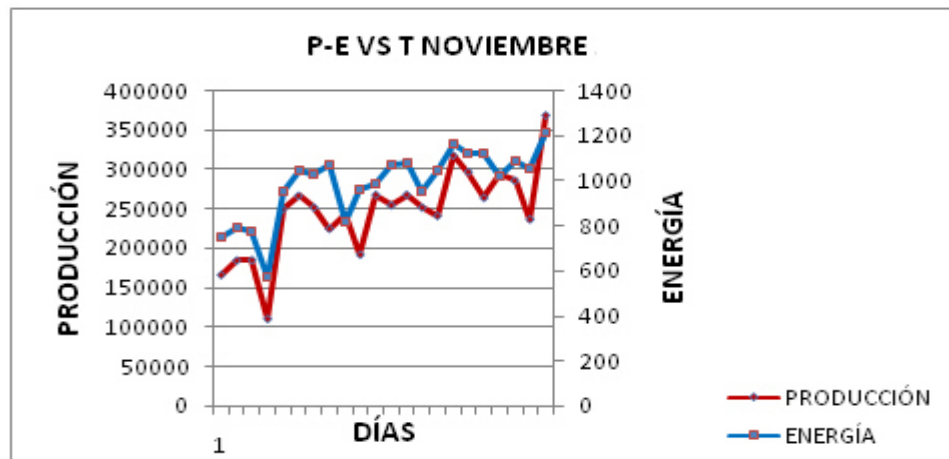
Figura 16. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de octubre 2012.



Fuente: autores.

Para el mes de noviembre de la figura 17, a principios del mes de noviembre se nota que la producción es baja, pero la tendencia general de los dos variables es el aumento, por lo cual a finales de mes se nota que la producción termina siendo muy elevada con respecto a otros meses. Ya el concepto de los puntos criticos e inestables los conocemos el porque de su comportamiento.

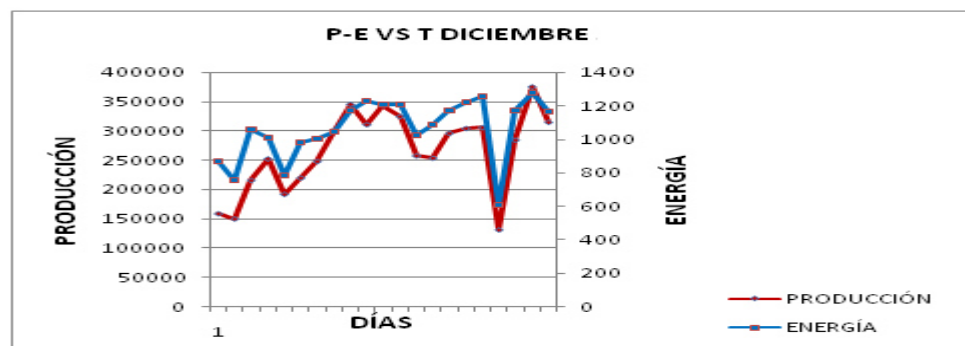
Figura 17. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de Noviembre 2012.



Fuente: autores.

Para el mes de diciembre mostrado en la figura 18, la correlación existente entre las variables, se mantiene en este mes de diciembre: en los primeros días comienza bajo, a mitad de mes logra estabilizarse en un punto alto y luego casi cerrando el mes la producción cae aún por debajo de las cifras de principio de mes para luego finalizar con una recuperación de la producción. En este mes volvemos a notar lo contrario ocurrido en los otros meses, aca sucede algo contrario a lo explicado que se logra observar en días de producción y es que la producción continua aumentando y el consumo de energía permanece constante y en algunos casos aumenta, esto ya explicado anteriormente obedece a toma de datos erroneos por el vatimetro utilizado debido a que se vio afectado por factores climaticos y corrosión.

**Figura 18. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de diciembre 2012.**

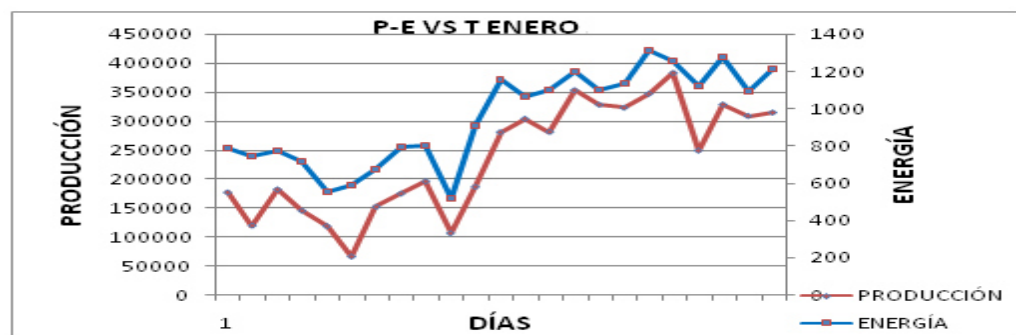


Fuente: autores.

Para el mes de enero del año 2013 mostrado en la figura 19, se observa con facilidad que la producción le toma casi medio mes para que pueda ir en aumento

y luego se estabiliza en ese punto. Esto se debe a que a principios de año, la demanda de producto es baja, lo cual influye en que la producción disminuya. La correlación entre las variables se sigue manteniendo.

Figura 19. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de enero 2013.

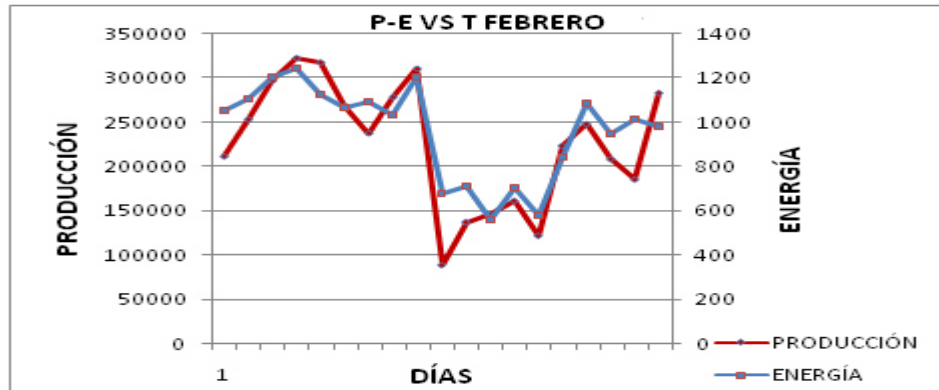


Fuente: autores.

Para el mes de febrero mostrado en la figura 20, el comportamiento es inusual, puesto que el rango de la producción y la energía se reduce, llegando como límite máximo un poco más de 300.000 kg producidos a principios de mes. También es inusual, puesto que la producción máxima se realiza a principios de mes y al llegar a la mitad tiene una caída súbita para luego irse recuperando poco a poco hasta llegar al fin de mes. Esto se debe a factores anteriormente explicados en meses anteriores y a patrones de comportamientos de las variables que se vieron afectadas por factores climáticos y el continuo consumo de energía mientras la producción estuvo parada.



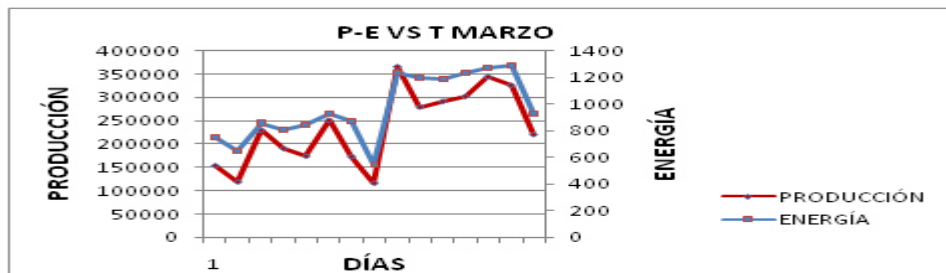
Figura 20. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de febrero 2013.



Fuente: autores.

Para el mes de marzo mostrado en la figura 21, el comportamiento de las variables analizadas es similar a la de otros meses, habiendo la correspondencia normal de aumento. Cabe anotar que a mitad de mes, la producción se dispara en muy poco tiempo pasando a triplicarse para luego tener una caída al finalizar el mes. Esto obedece a la demanda en la producción.

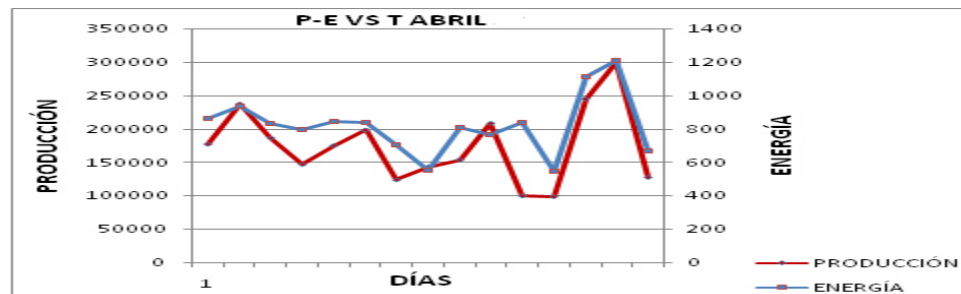
Figura 21. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de marzo 2013.



Fuente: autores.

Para el mes de abril mostrado en la figura 22, analizando los valores de las variables se nota que son unos de los más bajos en todo el período estudiado. Durante aproximadamente el 80% del mes la producción se mantiene dentro de un rango bajo pero estable y sólo en el último 20% del mes la producción tiene un pico ascendente y un pico descendente para cerrar el mes. También se puede observar que en este mes las variables se comportan un poco diferente entre sí, puesto que a veces la producción baja y sube (primera mitad del mes) pero la energía se mantiene constante

Figura 22. Gráfico de energía y producción variando en el tiempo para el mes de abril 2013.



Fuente: autores.

### 3.2.3. Comportamiento del índice de consumo con relación a la producción

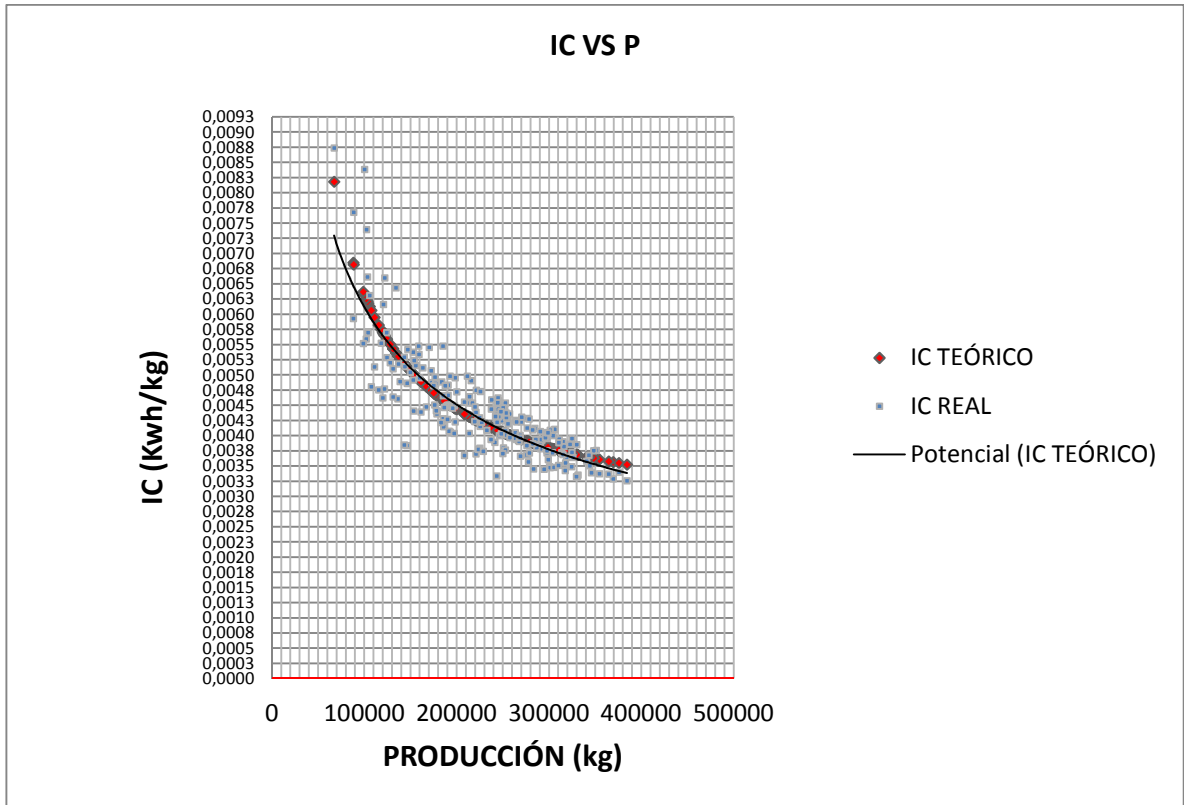
El índice de consumo (IC) indica la cantidad de energía empleada por cada kilogramo de producto procesado. También es útil para determinar el punto de nivel crítico de la producción (producción a partir de la cual el índice de consumo es mínimo) y para tener conocimiento de las áreas de producción con alta y baja

eficiencia energética. El índice de consumo depende del nivel de la producción realizada, sin embargo históricamente ha sido considerado constante e independiente del nivel productivo. Esto ocasiona que se llegue a conclusiones erróneas e interpretaciones inadecuadas del estado de eficiencia del proceso. Los valores de IC por debajo de la curva teórica, indican un excelente nivel de eficiencia del proceso, en el caso contrario indica, un deficiente nivel de eficiencia del proceso<sup>7</sup>. La figura 23 muestra el comportamiento del índice de consumo con respecto a producción en **la** empresa.

---

<sup>7</sup> (Tecnologías para el manejo de la información energética en la empresa)

Figura 23. IC vs P



Fuente: autores.

De acuerdo con la figura 23, pueden hacerse las siguientes observaciones:

- El índice de consumo es una función del nivel productivo, y se comporta de acuerdo a la ecuación 9:

$$IC = 0,004 + \frac{359,6}{P} \left( \frac{kWh}{Kg} \right)$$

Ecuación 9

- El factor de carga promedio es de 62,58%, lo anterior indica un margen de 37,42% para incrementar las ratas productivas y así mejorar al disminuir los índices de consumo.
- El índice mínimo alcanzable para una gestión óptima de la producción se obtiene cuando se trabaja a niveles productivos cercanos a 365.000 [Kg/Día] (producción a la máxima eficiencia). En este caso puede llegar a 0.00474 [kWh/Kg].
- El índice de consumo promedio presente en el proceso es de 0.0056 [kWh/Kg].
- Existe una gran dispersión de los índices de consumo para iguales niveles de producción, lo que significa que existe un buen potencial de uso final eficiente de la energía.
- El índice de consumo del proceso, según datos históricos, se puede reducir en un 19,75%, representando ahorros energéticos por mejoramiento en la gestión de la producción de 190,37 [kWh/Día] (\$ 1.599.104,35 /mes). Este potencial se puede alcanzar a través de una mejor planeación de la producción, es decir aumentando las ratas de producción de los equipos o también por cambios tecnológicos.

### **3.2.3.1. Evaluación de los índices de consumo con respecto a la producción del segundo semestre del 2012 y el primer cuatrimestre del 2013**

Para el periodo comprendido entre el mes de junio de 2011 hasta el mes de abril del año 2012, se analizan los índices de consumo en las operaciones de la empresa. Los índices de consumo se calculan por dos métodos, el primero es por medio de la relación de consumo de energía real contra producción real en kilogramos, y el otro es por medio de la capacidad media de eficiencia (línea base).

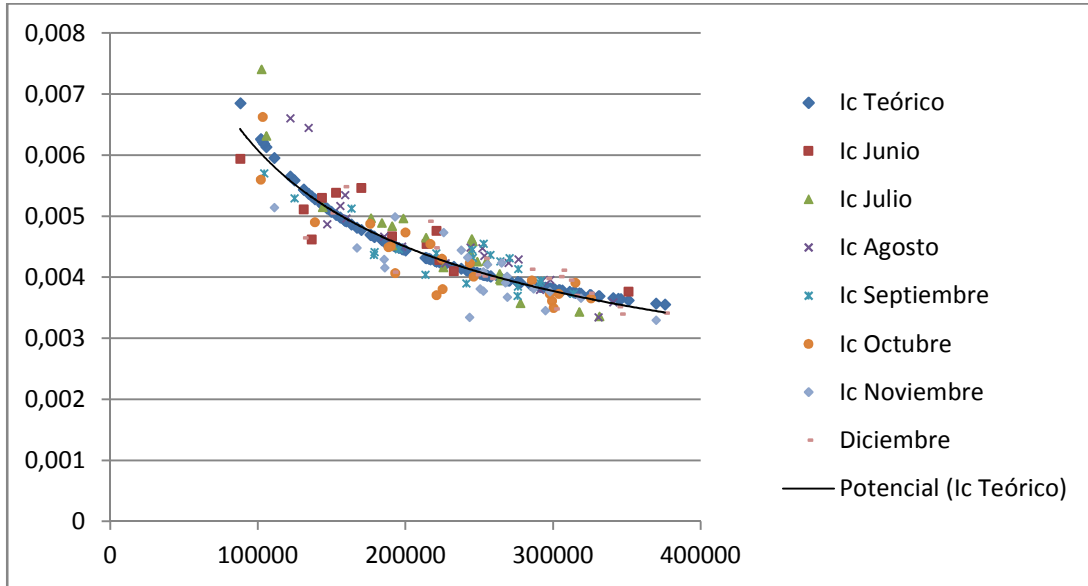
A modo de ejemplo se calcula el índice de consumo para el tercer día del mes de junio:

$I_{\text{creal}} = E/P = 759/143350 = 0,0053$  (kWh/Día). Modo uno

$IC \text{ línea base} = 0,004 + 359.6/143350 = 0,0049$ (kWh/Día). Modo dos.

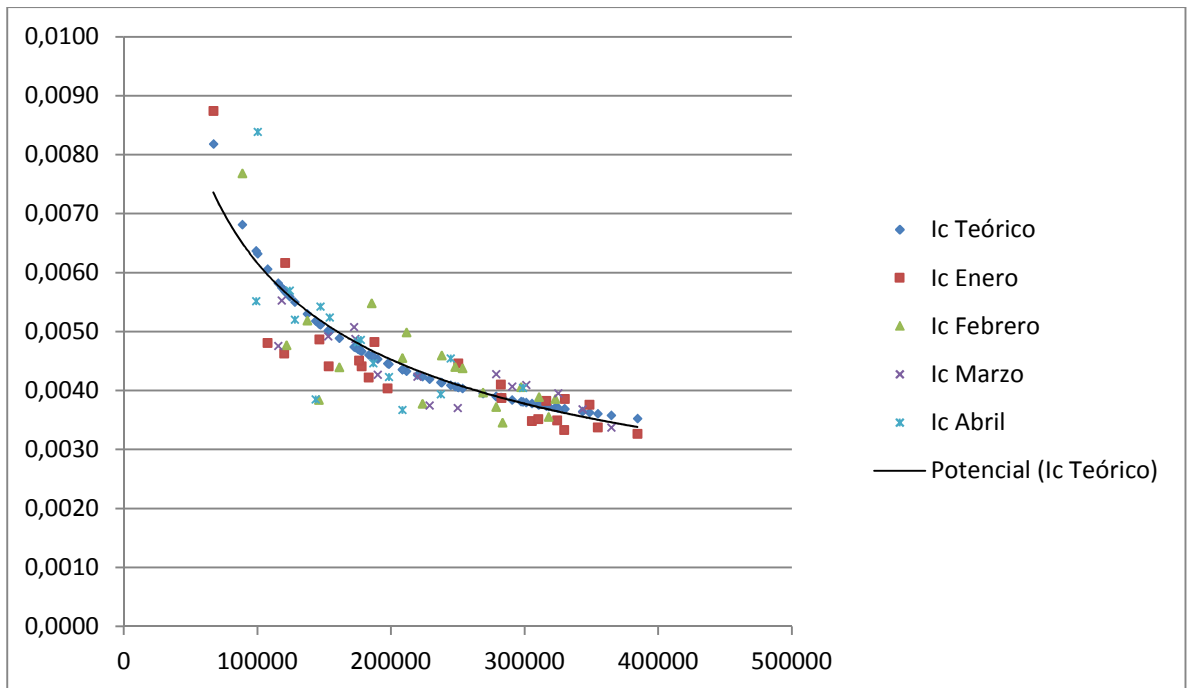
Para estudio de los resultados de los cálculos para los demás días, ver la figura 25 muestra los cálculos por mes para el IC según los do explicados.

Figura 24. IC según los dos modos de estimarlo para el segundo semestre 2012.



Fuente: autores.

Figura 25. IC según los dos modos de estimarlo para el primer cuatrimestre 2013.



Fuente: autores.

Analizándolas figuras 25y 26, se pueden hacer las siguientes observaciones:

- El índice de consumo para los meses entre Junio y Diciembre del 2012, se encuentran en la zona de bajo nivel de eficiencia del proceso. Son pocos los días en los que se alcanzan buenos niveles de eficiencia en el proceso.
- Para el primer cuatrimestre del año 2013, hay días que registran mejores índices de consumo con respecto a los días del año anterior. Notamos que hubo días pertenecientes a cada uno de los meses del primer cuatrimestre que cayeron o que se comportaron dentro de la zona de alta eficiencia del proceso. Esto es debido a que durante esos días la empresa trabajó óptimamente sus equipos de producción, logrando mejores índices de consumo real con respecto a los días que se encuentran sobre la curva teórica.
- En general el comportamiento entre los niveles de producción y los índices de consumo requeridos, es ineficiente, por lo que se refleja un bajo control en el proceso, pero oportunidades de mejoras.



### 3.2.4. Diagrama de Pareto para los equipos que operan con energía eléctrica

La tabla 1 muestra el consolidado de equipos de la planta y los respectivos consumos estimados en base a la potencia de la placa de los mismos.

Tabla 1. Censo de cargas eléctricas instaladas en la **empresa**.

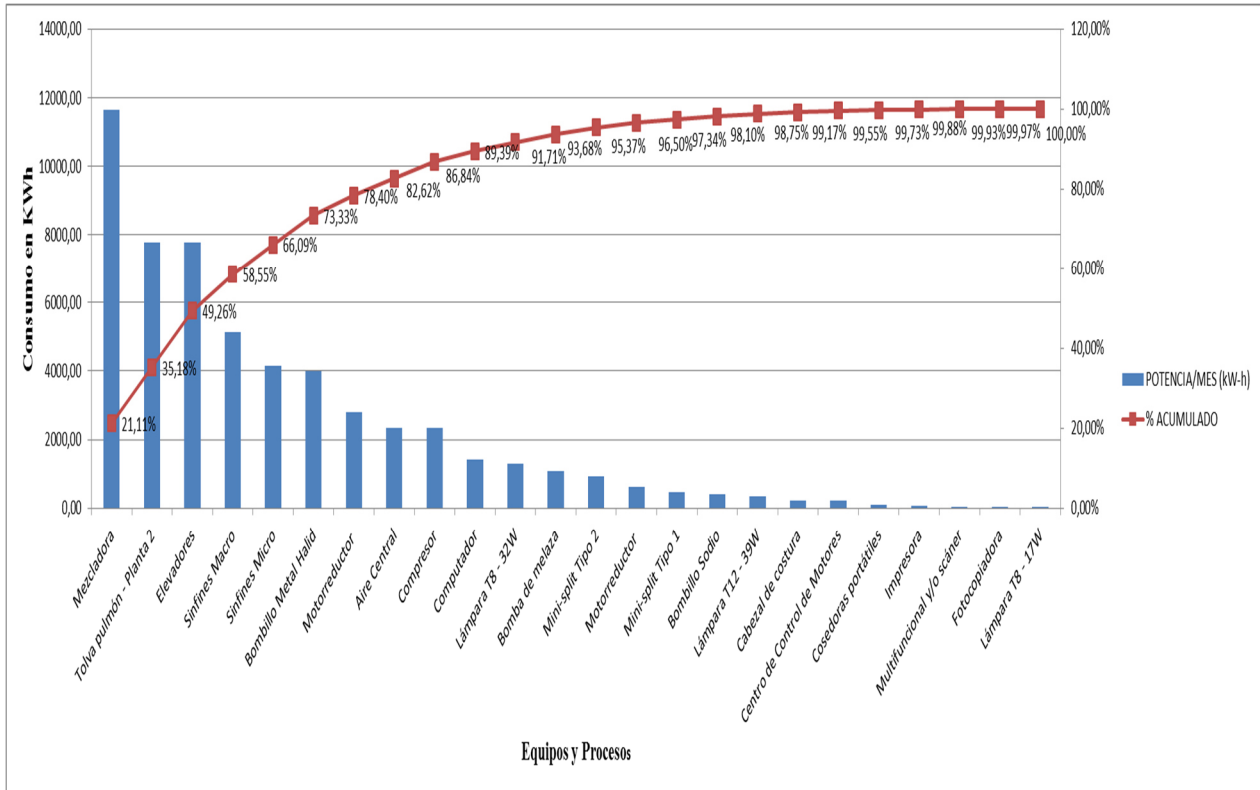
EQUIPO	POTENCIA UNITARIA (kW)	CANTIDAD	POTENCIA TOTAL (kW)	HORAS/DÍA	DÍAS/MES	ENERGIA/MES (kW-h)
Mezcladora	55,95	1	55,95	8	26	11637,60
Tolva pulmón - Planta 2	18,65	2	37,30	8	26	7758,40
Elevadores	9,33	4	37,30	8	26	7758,40
Sinfines Macro	2,24	11	24,62	8	26	5120,54
Sinfines Micro	4,00	5	19,99	8	26	4158,50
Bombillo Metal Halid	0,40	24	9,60	16	26	3993,60
Motorreductor	1,49	9	13,43	8	26	2793,02
Aire Central	3,73	2	7,46	12	26	2327,52
Compresor	11,19	1	11,19	8	26	2327,52
Computador	0,25	18	4,50	12	26	1404,00
Lámpara T8 - 32W	0,03	110	3,52	14	26	1281,28
Bomba de melaza	5,22	1	5,22	8	26	1086,18
Mini-split Tipo 2	1,49	2	2,98	12	26	931,01
Motorreductor	2,98	1	2,98	8	26	620,67
Mini-split Tipo 1	0,75	2	1,49	12	26	465,50
Bombillo Sodio	0,40	5	2,00	8	26	416,00
Lámpara T12 - 39W	0,04	22	0,86	16	26	356,93
Cabezal de costura	0,75	1	0,75	12	26	232,75
Centro de Control de	1,00	1	1,00	8	26	207,93

Motores						
Cosedoras portátiles	0,20	2	0,40	10	26	103,96
Impresora	0,10	5	0,50	6	26	78,00
Multifuncional y/o scáner	0,10	2	0,20	6	26	31,20
Fotocopiadora	0,15	1	0,15	6	26	23,40
Lámpara T8 - 17W	0,02	2	0,03	16	26	14,14

*Fuente: Elaboración propia*

Graficando los datos de la tabla1, se tiene la figura 27.

Figura 26. Pareto de los equipos de la planta.



Fuente: autores.

Los equipos críticos según la figura 27, responsables del 80 % del consumo son: la mezcladora, la tolva pulmón, los elevadores, los sifines y el aire central. A los mismos se les realiza una evaluación del consumo real respecto a lo de fabricante para cuantificar el grado de ineficiencia y tomar los correctivos apropiados para recuperar eficiencia energética.

Observe que la sola mezcladora, consume más del 20 % de la energía eléctrica mensual. Por esta razón es el equipo crítico de la empresa y se le realiza un análisis detallado, para generar las mejoras energéticas que pueden implementarse, con lo que la empresa tendrá una mejora sostenible, que pueda pagar su inversión y generar ingresos para mejorar la competitividad de la empresa.

#### **3.2.4.1. Planteamiento de solución para mejorar eficiencia energética de la mezcladora**

Según el diagrama de Pareto, La mezcladora es uno de los equipos críticos del proceso con un peso energético de más del 20 % del área productiva, es impulsada por un motor eléctrico trifásico, que según datos de placa, posee una potencia nominal de 60 Kw, con una eficiencia nominal de 0.92, trabajando en conexión de 440 voltios de instalación trifásica. Posee un arranque tipo delta\_ estrella, operando con una corriente nominal de 92 amperios, factor de potencia de 0.87, año de fabricación 1998, operando un promedio de 3000 horas al año.

La operación real de ese motor se mide eléctricamente, con lecturas de voltajes y corrientes en sus tres fases o líneas (L1, L2 y L3). Los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Mediciones eléctricas sobre el motor eléctrico de la mezcladora.

<b>Motor 80 Hp, 440 v.</b>	<b>Voltajes (V)</b>			<b>Corrientes (A)</b>		
	L1 - L2	L2 - L3	L1 - L3	L1	L2	L3
	424	411	407	39	44	42
<b>Promedio</b>	<b>418,2</b>			<b>43,68</b>		
<b>Fp</b>						
<b>Promedio</b>	0,85					

Fuente: autores.

Del análisis de la tabla 2, puede verse que para operación con voltaje nominal de 440 voltios, el consumo de corriente debe ser de 92 amperios y el real es de 43.68 amperios, lo cual es mucho menor que el nominal e indica que el motor está sobredimensionado para impulsar esta máquina. Existe por lo tanto la opción de cambiar el motor por uno de eficiencia energética más alta y alcanzar un mejor ajuste respecto a la capacidad normal de operación.

Para evaluar la factibilidad técnico – económica de cambiar un motor, se realiza el siguiente análisis:

- a. Para la potencia nominal de 60 Kw en la salida del motor (potencia mecánica), el correspondiente consumo de potencia eléctrica es  $60/0.92 = 65.21\text{Kw}$ .
- b. La potencia eléctrica real consumida es  $418.2 \times 43.68 = 18.27 \text{ Kw}$ .
- c. El factor de carga con que se opera el motor de la mezcladora es  $18.27 / 65.21 \times 100 = 28 \%$ .
- d. Por recomendaciones del fabricante, el motor debe operar con un factor de carga de al menos 80 % para que opere en un rango de eficiencia aceptable. Operar con factores de carga menores al 50 %, generan alta ineficiencia eléctrica porque prima la energía electromagnética de los campos, que no está asociada con la producción.
- e. Utilizar la ecuación 10 para calcular la eficiencia operacional.

$$n_{Ajustada} = [(n_{FC} + A_{VV}) A_{DV}] - A_R$$

Ecuación 11

Dónde:

$\eta_{Ajustada}$ : eficiencia de operación, evaluada al factor de carga actual y ajustada por las condiciones de operación.

$\eta_{FC}$ : eficiencia del motor evaluada sólo a partir de las condición de carga actual, sin desequilibrio entre las líneas.

$A_{VV}$  : ajuste de la eficiencia por variación de voltaje.

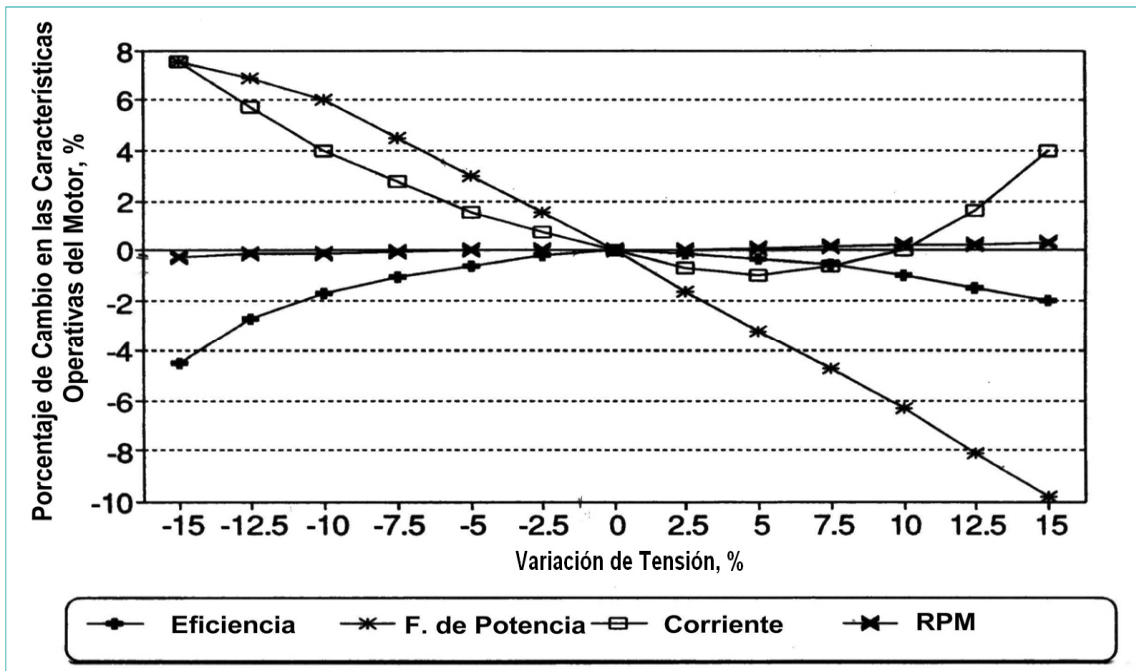
$A_{DV}$  : ajuste de la eficiencia por desequilibrio de tensión.

$A_R$  : ajuste de la eficiencia por rebobinado.

Para el motor analizado la variación de voltaje es  $(418.2 / 440 - 1) * 100 = -4.95 \%$ .

Con este valor y utilizando la figura 28, se tiene que el ajuste por variación de voltaje es -0.9

Figura 27. Ajuste por variación de tensión.



Fuente: ELECTRICARIBE, 2012, d. 44

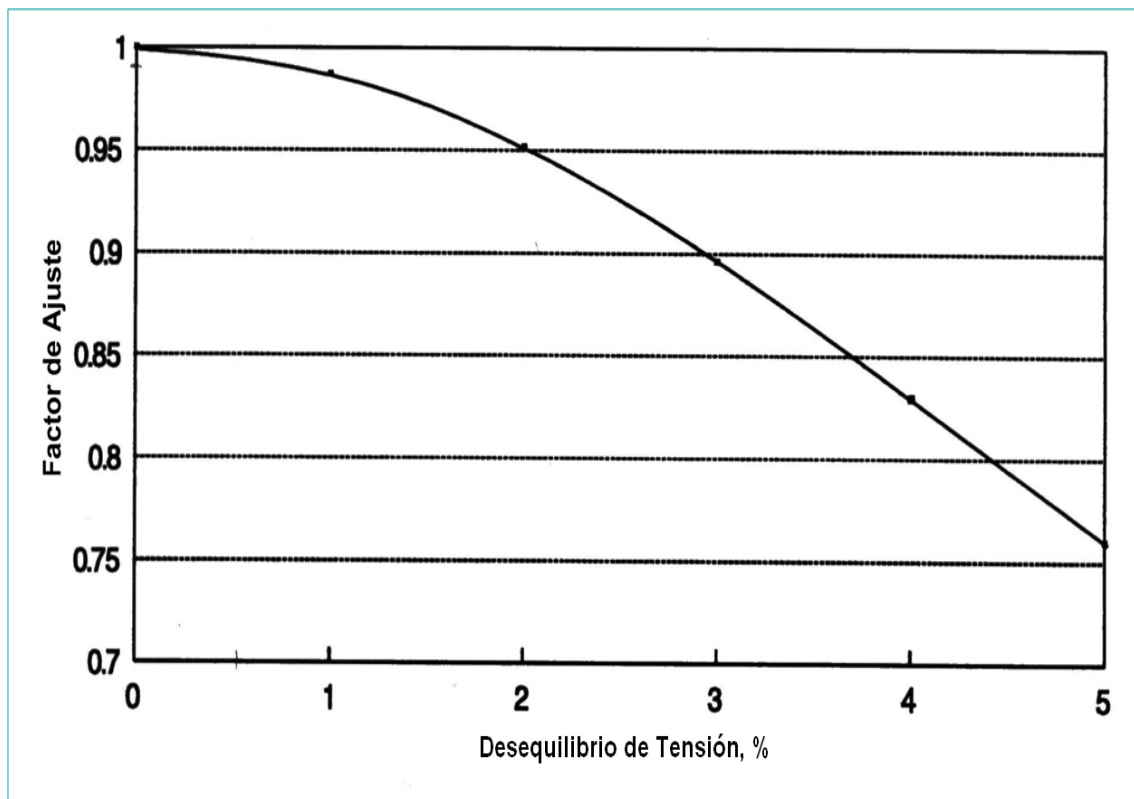
Para el motor analizado el ajuste por desequilibrio de tensión entre las líneas según mediciones de la tabla 2, se calcula con la ecuación 11.

$$\% Deseq_{LÍNEA} = \frac{Máx \left[ |V_{AB} - V_{PROM}| ; |V_{BC} - V_{PROM}| ; |V_{CA} - V_{PROM}| \right]}{V_{PROM}}$$

$$\% Deseq_{LÍNEA} = \frac{Máx \left[ |424 - 414| ; |411 - 414| ; |407 - 414| \right]}{414} = 2.41\%$$

Con este valor y utilizando la figura 29 se tiene que el ajuste por desbalance entre líneas es 0.93

Figura 28. Ajuste por desequilibrio de tensión entre líneas.



Fuente: ELECTRICARIBE, 2012, d. 48

La eficiencia ajustada del motor entonces es:  $(0.92 - 0.009) \times 0.93 = 0.8411$

f. Para la potencia eléctrica operacional actual de 18.27 Kw, la potencia mecánica obtenida del motor es  $18.27 \times 0.8411 = 15.366$  Kw.



- g. Las pérdidas de energía en el motor son de 2.9 Kw (18.27 – 15.366). En un año, las pérdidas son de 8712 kwh, en dinero dado que el costo del kwh es de \$ 280 son del orden de \$ 2.439.000 / año.
- h. Con motores de alta eficiencia, de 0.98, se tiene que la potencia mínima del motor sería de  $15.366 / 0.98 = 15.68$  Kw. Un Motor de 18 Kw es el seleccionado. Las perdidas serian de .314 kw. En un año las pérdidas son de 264.000. Por lo tanto cambiando el motor, el ahorro económico es de 2.175.000 / año. Para una vida útil del motor de 8 años, esto arroja una cifra de \$ 17.400.000. El costo del mencionado motor de recambio es de 3.545.000 iva incluido. Por lo tanto se sugiere el cambio de motor por el de 18 Kw, marca Baldor según acuerdo con la gerencia de mantenimiento, dado que el actual tiene una vida agotada y el rebobinado costaría alrededor de \$ 2.000.000.

#### **3.2.4.2. Mejoras para el sistema de aire comprimido**

Del análisis de Pareto se observa que mezcladora, la tolva pulmón y los sinfines utilizan aire comprimido para su operación. Es sabido que este energético es de tipo terciario y la eficiencia de obtención promedia el 20 %, por lo cual es crítico tener un sistema de aire comprimido en perfecto estado operativo, especialmente equipos libre de fugas. Después de un recorrido por las instalaciones de aire comprimido se detectaron las fugas mostradas en la tabla 3.

Tabla 3. Listado de fugas en el sistema de aire comprimido.

LISTADO DE FUGAS ENCONTRADAS						
Fuga No	Lectura en dB	Elemento	Máquina	Sección	Costo Unitario	Desperdicio en CFM
					Anual	
					\$ 5.987.000,00	36.25 Consolidado
1	50	Válvula de seguridad	Compresor	Cuarto de Compresores	\$ 632.800,00	4.35
2	89	Cilindro neumático	Ensacadora 1	Planta 1	\$ 1.263.360,00	7.52
3	40	Unidad de mantenimiento (Lubricador)	Válvula de Melaza	Planta 1	\$ 411.600,00	2.45
4	40	Cilindro neumático	Tolva de Micro	Planta 1	\$ 411.600,00	2.45
5	45	Cilindro neumático	Ensacadora de Fosfato	Planta 1	\$ 485.520,00	2.89
6	76	Te de manguera	Planta 2	Planta 2	\$ 1.013.040,00	6.03
7	96	Unidad de mantenimiento	Planta Kilo	Planta 2	\$ 1.404.480,00	8.36
8	37	Te de manguera	Ensacadora de Fosfato	Planta 1	\$ 369.600,00	2.20

Fuente: autores.

Los aproximadamente 36 CFM (pies cúbicos por minuto), desperdiciados por fugas a una presión promedio de 120 psi, dan una potencia pérdida de 14 kw (valor obtenido de multiplicar el flujo por la presión). Para un año de operación

(3000 horas en promedio), se totalizan 42000 Kwh / año de aire comprimido. El valor anterior debe corregirse por la eficiencia de los sistemas de aire comprimido que promedian el 20 % y lo anterior se convierten en un consumo eléctrico de 210.000 Kwh / año a un costo de \$ 58.800.000. Las inversiones estimadas para eliminar las fugas detectadas ascienden a un costo de \$ 4.200.000. Por lo tanto se observa una oportunidad de mejorar en el sistema de aire comprimido. Ver anexo A para identificar problemas en el sistema de aire comprimido.

Las siguientes recomendaciones para el sistema de aire comprimido se plantean para que el personal de la empresa las conozca y aplique.

- Instalación de un secador a la salida del aire comprimido del tanque, ya que, no existe secador para el compresor, lo cual genera que el aire que llegue a la red y los puntos de aplicación lleguen con alto contenido de humedad, situación que es un gran foco de pérdida en eficiencia, además de afectar el sistema de distribución por corrosión.
- Instalación de un sistema de filtración adecuado para garantizar la calidad del aire en el sistema de distribución y en los equipos, para mejorar la confiabilidad operacional.
- Cambiar el actual depósito de aire de 80 galones con el que cuenta el compresor por uno de 250 galones. Al adquirir un tanque con esta capacidad, el compresor podrá prolongar sus ciclos de trabajo, reduciendo la cantidad de

arranques por hora y propiciando ahorros tanto energéticos como de consumibles internos del compresor. Los daños del motor son función del número de arranques, lo que también aplica para pisas vitales del compresor como el cigüeñal, cilindros y pistones, por problemas de lubricación durante los arranques.

### **3.3. INDICADORES OPERATIVOS ACTUALES Y PROPUESTOS EN LA EMPRESA**

Los indicadores o medidores de desempeño, son herramientas valiosas para registrar, visualizar y analizar periódicamente el comportamiento de los consumos de energía, posibilitando tomar decisiones o hacer cambios dentro de la organización, descubrir las oportunidades de mejora y establecer las prioridades de la empresa

Los actuales indicadores son mediciones centradas en la producción de los totales por mes. Se tiene según el director operativo: los de productividad, de cumplimiento y calidad, definidos así:

Productividad = kilos producidos / tiempo de trabajo

Cumplimiento = kilos reales / kilos proyectados (en %)

Calidad = kilos rechazados / kilos producidos

Los indicadores propuestos para sentar las bases de un proceso de gestión de la energía en la empresa son:

a.  $\text{Índice de consumo} = E \frac{\text{real}}{P_{\text{real}}}$

Ecuación 9

b. Indicador base 100 = (E calculada según la ecuación base / E real)\*100 En %.

Si es igual o mayor a 100 operación eficiente, de lo contrario operación ineficiente.

c. Indicador de tendencia del consumo = suma acumulada mes a mes de (Ereal – Ebase).

### **3.4. IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES DE MEJORA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA**

#### **3.4.1 Potenciales de mejora por reducción de la variabilidad operacional y por planeación de la producción**

Para el caso de reducción de la variabilidad operacional, la mejora cuantificada es de  $(359.6 - 321.1) / 359.6 * 100 = 10\%$  de mejora en la energía no asociada a la producción. Mensualmente se totaliza multiplicando el ahorro debido a la disminución de la potencia no asociada a la producción por control operacional de equipos para que no trabajen en vacío o se disminuya el número de arranques y paradas por día operativo, entre otras medidas que pueden aplicarse a la empresa, teniendo como base este tipo de prácticas al interior, descubiertas en el diagnóstico de recorrido realizado a la planta. El ahorro diario es de 38.5Kwh / día por 25 días / mes \* \$ 260 / Kwh = \$ 250.000 / mes

Para el caso de planeación de la producción, el control lo determina el índice de consumo, por lo que se acuerda con la gerencia operativa para que planifique niveles de producción diaria de al menos 300.000 kilos, manejando el cumplimiento mensual de la demanda. El índice de consumo promedio actual es 0,0053 (kWh/kilo). Con una producción promedio / día de 270.000 kilos, durante 25 días / mes, se tiene un consumo de 331250 Kwh/mes a un costo de \$ 93.015.000. Trabajando con un índice de consumo mejorado de 0.0049, se tiene un costo de 85.995.000. La diferencia es un ahorro mensual de \$ 7.000.00. Se debe ajustar este cálculo por posibles costos de horas extras, de no programarse a conveniencia el horario de trabajo (un cálculo contable estima una cifra por horas extras de \$ 1.200.000 / mes en promedio).

La reducción de consumo mensual en energía por los dos factores mencionados es de  $(359.6 - 321.1) * 25 + (0.0053 - 0.0049) * 270000 * 25 = 962.5 + 2700 = 2796.2$  Kwh /mes. Teniendo en cuenta que el factor de emisión actualmente aprobado para las generadoras del sistema interconectado nacional –SIN.- es de 0,2849 kg CO<sub>2</sub>/kWh, significa que los ahorros energéticos se multiplican por este valor para cuantificar las reducciones de emisiones, dando una reducción mensual de 769 toneladas / mes de CO<sub>2</sub> menos, valor importante dada la tendencia a la protección del aire que respiramos todos los seres vivos.

### **3.5. APLICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS ENERGÉTICAS EN LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LA EMPRESA**

Soportados en lo visualizado por el diagrama de Pareto, el aire comprimido y el aire central son grandes consumidores en la planta y por lo tanto la aplicación de las siguientes prácticas, de probada eficiencia y consiguiente reducción de costos energéticos, es oportuna que la conozca el personal de la empresa.

#### **3.5.1. Buenas prácticas en eficiencia energética para el sistema de aire comprimido**

- Realizar un diagnóstico periódico (mensual) de régimen operativo del compresor.
- Revisar filtros de admisión y en lo posible instalar indicador de tapado de filtros. El aire aspirado debe estar limpio, filtrado, y lo más frío posible, ya que cada 4°C de aumento de temperatura en aire aspirado, aumenta el consumo de energía 1% para igual caudal y cada 3°C de disminución de temperatura del aire aspirado da lugar a 1% más de aire comprimido para el mismo consumo de energía.
- Realizar inspecciones de fugas periódicamente usando detector c tecnología ultrasónica.

- Instalar manómetros para soportar el diagnóstico a las caídas de presión en el sistema. Identificar y eliminar los cuellos de botella de la tubería del sistema.
- Mantenimiento adecuado de filtros, reguladores y el sistema. La carga de motor aumenta 5% por cada 5 pulgadas de caída de presión de succión.
- Mantener el desempeño del lubricante propiamente por la eficiencia y fiabilidad. La capacidad del compresor puede reducirse un 10% o más si el aceite lubricante no está funcionando apropiadamente.

### **3.5.2. Buenas prácticas en eficiencia energética para el sistema de aire acondicionado**

- Realizar un mantenimiento periódico del equipo ayudará a que trabaje más eficiente, la periodicidad depende del tiempo de operación y los días al mes que lo use. Si lo utiliza todo el día y todos los días debe hacerlo mensual.
- Seleccionar adecuadamente en el termostato la temperatura de funcionamiento, esta debe ser lo más alto posible dentro de los rangos permitidos **73 a 77°F (23 a 25 °C)**, ajustándose a la temperatura que le permita sentirse cómodo al personal beneficiario.
- Cuando encienda el aire acondicionado, no ajuste el termostato a una temperatura más baja de lo normal. No enfriará más rápido y podría resultar en un enfriamiento excesivo y por consiguiente, en un gasto innecesario.
- Apagar el aire acondicionado cuando las salas estén vacías. Enciéndelos sólo cuando alguien los utilice.



- Procurar no tener en las áreas acondicionadas (oficina) elementos generadores de calor como, cafeteras, fotocopiadoras, etc.
- Procurar no dejar puertas o ventanas abiertas, sobre todo cuando el sistema de aire acondicionado está funcionando.
- La parte exterior del aire acondicionado debe estar situado en una zona con buena circulación de aire y protegido de los rayos del sol. Una unidad que opera a la sombra utiliza casi el 10% menos de electricidad que una unidad similar expuesta al sol.
- Si la unidad no se puede reubicar bajo la sombra entonces colóquela una cubierta que la proteja de los rayos del sol de manera tal que le proteja más cuando la incidencia del sol sea mayor. Esta cubierta no deberá obstruir la circulación del aire. Coloque cubiertas de colores claros o reflexivos.
- No colocar lámparas cerca del termostato del aire acondicionado. El termostato detecta el calor de estos aparatos, lo que puede hacer que el aire acondicionado funcione más tiempo del necesario.
- Mejorar el estado de las instalaciones eléctricas para evitar las pérdidas por recalentamiento y falsos contactos.
- Comprar equipos con etiquetado o certificación de equipos eficientes energéticamente del tipo “EnergyStar”, asegurando y garantizando un consumo energético adecuado.

### **3.6. ESTRATEGIAS RECOMENDADAS PARA INICIAR UN PROCESO DEMEJORA HACIA LA NORMA ISO 50001**

La evaluación del nivel de gestión energética en la empresa **la** empresa con respecto a la norma ISO 50001, arrojo que esta empresa no cumple con los requerimientos de la norma y obtiene una calificación de 1.1 (ver figura 10). Por consiguiente, se plantean las siguientes recomendaciones para mejorar en cuanto a la gestión energética a nivel organizacional:

1. La alta dirección debe: definir, comunicar, implementar, actualizar, apoyar y mantener, una política energética a nivel de empresa, enfocada en la eficiencia energética y el mejoramiento continuo del desempeño energético de los diferentes procesos de producción.
2. Establecer, implementar, actualizar y comunicar los objetivos y metas energéticas, consistentes con el compromiso, misión y visión de **la** empresa con la mejora continua y la asignación de recursos.
3. Definir y suministrar los recursos (humanos y financieros) necesarios para establecer, implementar, mantener y mejorar el desempeño energético. Para la empresa, una persona designada por la alta dirección, puede coordinar todas las actividades relativas a la planificación e implementación.
4. Establecer, implementar, revisar, actualizar y mantener una línea base energética e indicadores de desempeño energético, como el criterio para evaluar el uso, consumo y eficiencia de la energía. Además, con estas

herramientas estadísticas energéticas se asegura la evaluación del cumplimiento de objetivos y metas de energía establecidos por la empresa.

5. Establecer e implementar un procedimiento de comunicación interna, por medio del cual toda persona que trabaje para la empresa, pueda hacer comentarios o sugerencias para la mejora del desempeño energético.
6. Definir e implementar un plan de medición energética, apropiado al tamaño y complejidad de la empresa, para garantizar un seguimiento y control del desempeño energético eficaz.
7. Establecer una metodología de elaboración y seguimiento periódico del presupuesto de energía, por medio de, herramientas estadísticas energéticas.
8. Identificar y evaluar aquellas prácticas operacionales y/o de mantenimiento que están asociadas con sus usos significativos de la energía y asegurar que son monitoreadas de una manera tal que controlen o reduzcan los impactos adversos asociados con ellas, de forma de cumplir con los requisitos de su política energética y de alcanzar sus objetivos y metas.
9. Identificar y evaluar las oportunidades tecnológicas de mejora del desempeño energético y del control operacional de equipos, sistemas y procesos que pueden tener un impacto significativo en su consumo energético.
10. Establecer planes de acción a corto, mediano y largo plazo. Para el control de las variables que afectan el consumo energético de cada uno de los procesos de la planta, y también para la implementación de las medidas tecnológicas identificadas. Estos planes deben estar acompañados de los procedimientos y actividades a ejecutar por el personal que labora en la empresa.

11. Establecer e implementar el criterio para evaluar el uso, consumo y eficiencia de la energía durante la vida útil planificada o esperada, al comprar un producto, equipo y/o servicio con un impacto significativo en el desempeño energético de la empresa. Es decir, la empresa debe informar a los proveedores, que las compras serán en parte evaluadas sobre la base del desempeño energético<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> (ISO, 2011)

## CONCLUSIONES

- Se realizó una caracterización energética a la empresa **la** empresa basados en los requerimientos de la norma ISO 50001. Con esto se tiene la base para que a futuro la empresa pueda implementar un sistema de gestión de la eficiencia energética en lineamiento con los sistemas de calidad ISO serie 9000, que apoye procesos de mejora, que permitan que la empresa pueda ser más competitividad en su mercado de acción.
- Se aplicaron herramientas conceptuales de la gestión energética para cuantificar los potenciales técnicos de mejora encontrados, con el fin de llegar a las reducciones energéticas deseadas en la aplicación del proceso.
- Se concluye que la energía no asociada a la producción (ENAP) equivale a un 29.2% del consumo promedio registrado para las operaciones confiables, lo que nos muestra que sería un punto de mejora para optimizar el proceso energético. Por otra parte nos arroja un 24,109% equivalente a las operaciones más eficientes, todo esto relacionado a cargas no productivas como lo sería la iluminación, aire acondicionado, ventiladores, etc. Puntos estratégicos para atacar en el proceso energético con el fin de reducir los niveles de consumo.
- Obtenidos los resultados de la aplicación del proceso se propuso desarrollar un análisis de factibilidad económica de los posibles puntos a

corregir con el fin de priorizar la secuencia de los procesos de mejora continua a utilizar.

- En base al análisis de resultados se propuso un sistema de control para poder seguir con el sostenimiento de los puntos estratégicos de mejoramiento propuestos.

## ANALISIS DE RESULTADOS

La ecuación de correlación del consumo de energía en relación con diversos niveles productivos. La ecuación de la línea base es.  $E = 359.6 + 0.04 \cdot P$  y la ecuación de la línea meta es  $E = 321.1 + 0.04 \cdot P$ . Basados en estas ecuaciones se estimaron los ahorros no asociados a cambios tecnológicos, que son rápidos, baratos y no difíciles de implementar.

La energía no asociada a la producción (ENAP) equivale a un 29,2% del consumo promedio registrado para las operaciones confiables y un 24,109% para las operaciones más eficientes. La ENAP se debe a cargas no productivas como son las cargas de iluminación, aire acondicionado, ventiladores, computadores y también a los regímenes de operación en producción, como equipos funcionando a baja carga como pudo observarse en el recorrido de diagnóstico, realizado al inicio del proyecto, en equipos como: la mezcladora, los elevadores de cangilones, los tornillos sinfín y otros.

El potencial de ahorro por gestión operacional y de mantenimiento representa un 8,23% del consumo de energía promedio equivalente a 69,73 [kWh/Día] (585.699,92 \$/mes).

El Índice de Consumo del proceso varia con la producción según la ecuación  $IC = 0,004 + 359.6/P$  [kWh/Kg].

El factor de carga promedio es de 59,78%, lo anterior indica un margen de 39,22% para incrementar las ratas productivas y por ende disminuir los índices de consumo.

La óptima programación de la producción, conlleva a la disminución de los índices de consumo de la planta, y por lo tanto a una reducción del costo energético. Esto se observa en el comportamiento de los índices de consumo de la planta durante varios días del primer cuatrimestre del presente año, donde ya se habían ejecutado algunas acciones de mejora para eficiencia energética.

El potencial de ahorro por gestión de la producción, representa un 22,75%, del consumo de energía promedio equivalente a 190,37 [kWh/día] (1.599.104,35 \$/mes). Este potencial se puede alcanzar, a través de una mejor planeación de la producción, es decir aumentando las ratas de producción de los equipos o también por cambios tecnológicos.

El potencial por reducción de las emisiones atmosféricas es de 26.676,9 kilogramos de CO<sub>2</sub> al año.

La situación actual de los indicadores no permite actuar oportunamente cuando ocurren ineficiencias energéticas por causas operacionales o variaciones del estado técnico de los equipos.

De acuerdo con la encuesta cualitativa de las conformidades de la gestión organizacional para la administración energética actual con respecto a la norma ISO 50.001 se encontró un nivel *Muy Bajo*(1.1) (<2) de cumplimiento de la norma de gestión energética.



## BIBLIOGRAFIA

1. Campos Avella, J. C. (2009). Tecnologías para el manejo de la información energética en la empresa., (pág. 157).
2. Campos Avella, J. C., Lora Figueroa, E., Meriño Stand, L., Tovar Ospino, I., Quispe Oqueña, E. C., Vidal Medina, J. R., y otros. (2008). *Sistema de Gestión Integral de la Energía: Guía para la Implementación*. (L. Á. Enríquez López, Ed.) Bogotá.
3. ELECTRICARIBE. (2012). Eficiencia en motores eléctricos. *Energía Empresarial*, (pág. 71). Santa Marta.
4. Energía Eficiente S.A. E.S.P. Potenciales de reducción de costos energéticos en sistemas térmicos y de flujo., (pág. 163).
5. IEEC. (1993). *Study 141*.
6. ISO. (2011). *Norma Internacional ISO/FDIS 50001 Sistemas de gestión de la energía - Requisitos con orientación para su uso*. Génova: ISO.
7. WEG Equipamentos Elétricos S.A. (s.f.). Catálogo Técnico - Mercado Latinoamericano, Motor Trifásico W22. Jaraguá do Sul, SC, Brasil.

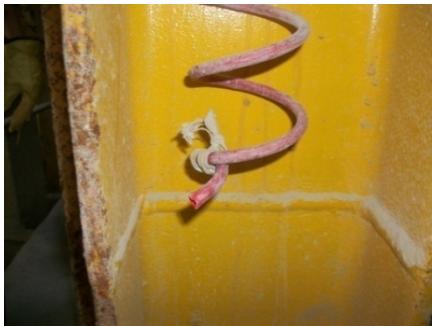
## ANEXO A.

### FOTOS DEL ESTADO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.

- a. Tuberías corroídas y con fuga.



- b. Drenaje de humedad inoperante, favoreciendo daños internos del sistema, por mal diseño y mala instalación. Mangueras mal selladas y unidades de tratamiento destruidas.



**ANEXO B.**

**TABLA DE PÉRDIDAS DE AIRE SEGÚN TAMAÑO DE ORIFICIOS DE FUGA.**

PRESION DE SISTEMA	DIAMETRO DEL ORIFICIO DE SALIDA DEL AIRE									
	1/64"	1/32"	1/16"	1/8"	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	7/8"	1"
30	0.158	0.633	2.53	10.10	40.50	91.10	162.00	365.0	496.0	648
35	0.176	0.703	2.81	11.30	45.00	101.00	180.00	405.0	551.0	720
40	0.194	0.774	3.10	12.40	49.60	112.00	198.00	446.0	607.0	793
45	0.211	0.845	3.38	13.50	54.10	122.0	216.0	487.0	662.0	865
50	0.229	0.916	3.66	14.70	58.60	132.0	235.0	528.0	718.0	938
60	0.264	1.06	4.23	16.90	67.60	152.0	271.0	609.0	828.0	1,082
70	0.300	1.20	4.79	19.20	76.70	173.0	307.0	690.0	939.0	1,227
80	0.335	1.34	5.36	21.40	85.70	193.0	343.0	771.0	1,050.0	1,371
90	0.370	1.48	5.92	23.70	94.80	213.0	379.0	853.0	1,161.0	1,516
100	0.406	1.62	6.49	26.00	104.0	234.0	415.0	934.0	1,272.0	1,661
110	0.441	1.76	7.05	28.20	113.0	254.0	452.0	1,016.0	1,383.0	1,806
120	0.476	1.91	7.62	30.50	122.0	274.0	488.0	1,097.0	1,494.0	1,951
125	0.494	1.98	7.90	31.60	126.0	284.0	506.0	1,138.0	1,549.0	2,023
150	0.582	2.37	9.45	37.50	150.0	338.0	600.0	1,315.0	1,789.0	2,338
200	0.761	3.10	12.35	49.00	196.0	441.0	784.0	1,764.0	2,401.0	3,136