

Revisión energética en una empresa de fundición de metales

Energy check in a metal foundry

Fecha de Recibido: 21/10/2020 Fecha de Aceptado: 28/10/2020

Lina Tatiana Rojas

Universidad Autónoma de Occidente
linatatiana20@hotmail.com

Yuliana De La Torre

Universidad Autónoma de Occidente
yulianadelatorre@hotmail.com

Juan Ricardo Vidal 

Universidad Autónoma de Occidente
jrvidal@uao.edu.co

Enrique Ciro Quispe 

Universidad Autónoma de Occidente
ecquispe@uao.edu.co

Para citar este artículo:

L. Rojas, Y. De la Torre, J. Vidal & E. Quispe, “Revisión energética en una empresa de fundición de metales”, *LADEE*, vol. 1, no. 1, pp. 55–63, 2020.

Resumen— Este documento presenta el estudio energético realizado a una empresa de fundición de metal ubicada en el municipio de Yumbo (Valle del Cauca, Colombia), con el fin de estimar el potencial de ahorro de energía. En este trabajo se utilizan técnicas de gestión de energía que permitieron plantear unas propuestas de mejoramiento del desempeño energético y calcular un potencial de ahorro de 3367 KW-h para un periodo similar al analizado. Además, permitió calcular la producción crítica del proceso productivo.

Palabras clave— Revisión energética; consumo energético; producción equivalente; línea base; línea meta

Summary—This study discusses the energy audit on a metal foundry company in the municipality of Yumbo (Valle del Cauca, Colombia), aiming at estimating the energy-saving potential. Energy management tools are used in this case, which allowed us to proposed different improvements accounting for a saving potential of 3367 kW-h for a period similar to the data period assessed. Additionally, the critical production of the process was defined in the assessment.

Keywords— Energy management system; energy consumption; production; energy baseline

I. INTRODUCCION

La gestión de energía es el conjunto de actividades que permite disminuir el consumo energético de un proceso, manteniendo el mismo nivel de producción del producto o servicio sin hacer cambios tecnológicos [1]. Generalmente la eficiencia energética es asociada únicamente con cambios tecnológicos, dejando de lado aspectos operacionales, de mantenimiento y de planificación de la producción, sin advertir que estos cambios de hábitos y actitudes pueden aportar igual o más ahorro energético que los mismos cambios tecnológicos [2].

El consumo energético mundial ha crecido continuamente en los últimos 45 años y el 80% del consumo proviene de combustibles fósiles [3], Desde el punto de vista ambiental, durante el proceso de generación de la energía eléctrica a base de recursos fósiles se generan gases contaminantes que afectan la capa de ozono y dan lugar al cambio climático, por lo que reducir la demanda energética acarrea una desaceleración del cambio climático [4].

La Eficiencia Energética constituye cerca del 40% de las opciones de reducción del gas de efecto invernadero, para evitar un incremento de temperatura media del planeta superior a 2 °C al año 2050 y controlar los efectos del cambio climático, mientras las Energías renovables constituyen el 30% del aporte a la disminución del cambio climático. Al 2050, la industria tiene el potencial de reducir su consumo entre 8% y 12% y reducir en 21 % las emisiones de CO₂, principalmente por Eficiencia Energética [3].

La revisión energética es la determinación del desempeño energético de la organización basada en datos y otro tipo de información, orientadas a la identificación de oportunidades de mejora [5].

Este estudio, realizado en la empresa de fundición, determinó dónde y cómo es utilizada la energía, además de especificar cuánta es desperdiciada y cuáles son los sistemas y programas a implementar para elevar el desempeño energético de esta empresa. El estudio aportó información apropiada para establecer los planes y procedimientos adecuados para lograr las metas de ahorro y eficiencia [6].

Los altos consumos específicos de energía, comparados con los estándares nacionales para este tipo de empresa, además de la paulatina pérdida de eficiencia energética en los equipos de alto consumo, llevaron a la organización a desarrollar este trabajo.

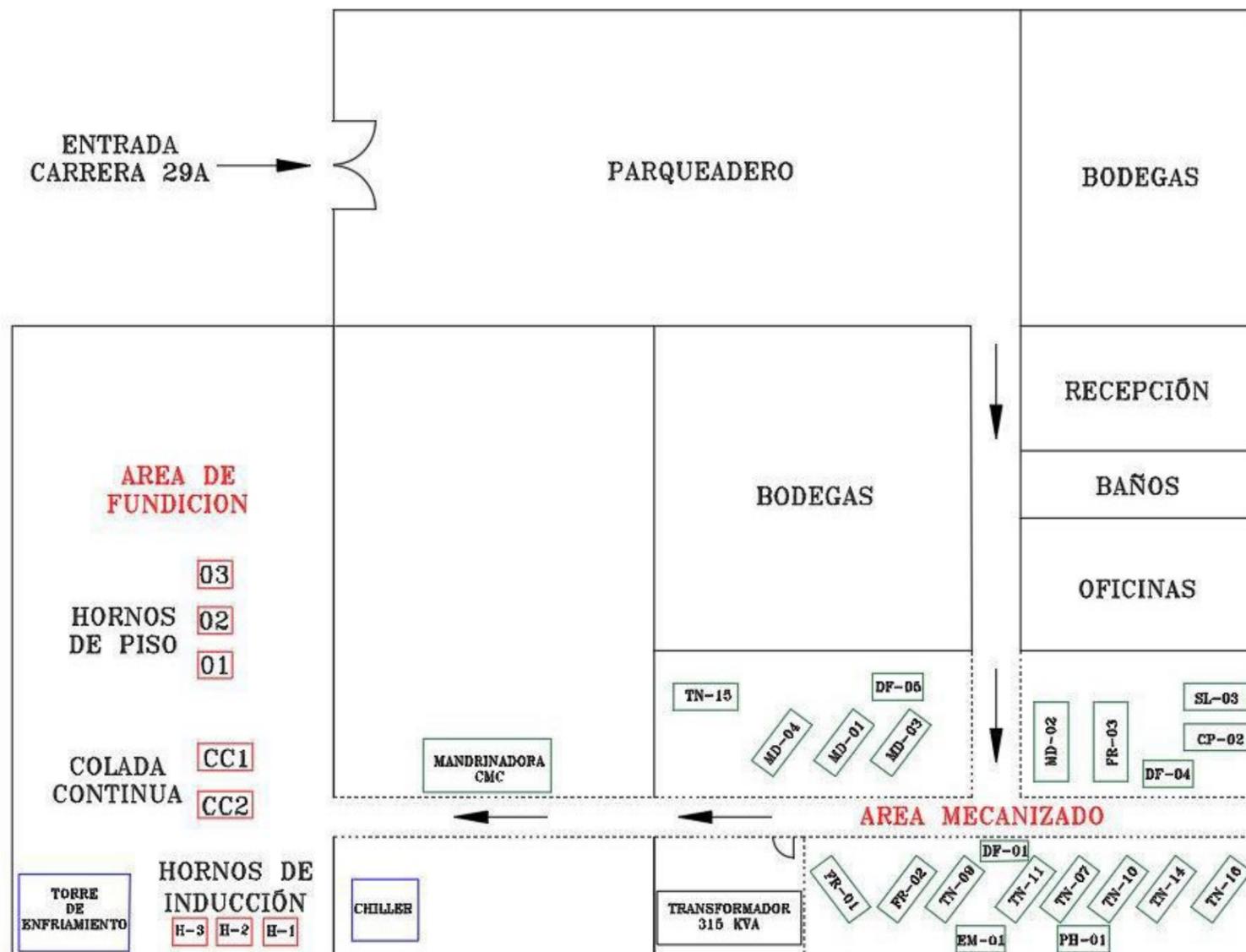


Fig. 1. Esquema Planta General.
Fuente: Autores.

Este estudio energético se realizó en una empresa dedicada a la fundición de metales ferrosos, no ferrosos y mecanizado de piezas industriales en diferentes presentaciones. La fusión consiste en hacer pasar los metales y sus aleaciones del estado sólido al estado líquido, generando consumos de energía específicos para cada metal o aleación. Mediante el proceso de mecanizado se ajusta el tamaño, forma o acabado de la pieza producida de acuerdo a los requerimientos y especificaciones de los clientes. En la Fig. 1 se muestra la planta en estudio. El proceso productivo se centra en tres grandes áreas, almacenamiento de materia prima (chatarra), modelo y fundición y mecanizado. El área de almacenamiento se recibe la chatarra, se clasifica y se pesa, el área de moldeo y función está constituida por tres hornos de piso y dos hornos de inducción, además, en esta área se incluyen la torre de enfriamiento y el chiller. Por último, el área de mecanizado, encargada de dar terminado a piezas que salen del área de fundición, está conformada por tornos, fresadoras, soldadura, mandriladora y esmeriladora.

II. METODOLOGIA

Para llegar a estimar un potencial de ahorro en esta organización, se llevaron a cabo las siguientes actividades.

- *Recopilación y análisis de datos históricos de consumo y producción.* En esta actividad se utilizaron balances de masa y energía y se aplicaron las herramientas de diagramas de Sankey y Pareto. Permitiendo, de esta manera, enfocarse en los USEs (Usos Significativos de Energía).
- *Elaboración de la línea base.* En esta actividad se definió el periodo base, la muestra mínima de datos, desarrollo de una producción equivalente, establecimiento de atributos de la línea base.
- *Calculo de potencial de ahorro por mantenimiento y operación.* Con los puntos de buen desempeño energético, se hace la línea meta, la diferencia entre la línea base y la línea meta permitieron el cálculo del potencial de ahorro debido a operación y mantenimiento.
- *Estimación de la producción crítica.* La segunda derivada del índice de consumo por producción permitió la estimación de la producción crítica.

Se estima el potencial de ahorro energético mediante el análisis estadístico de datos de consumo energético y producción tomados en la planta. Obteniendo las áreas y equipos de mayor consumo y enfocar el estudio en esa dirección; para ello se realiza un balance de masa y energía en el proceso productivo, obteniendo los diagramas de Sankey, energético productivo y Pareto. Permitiendo identificar el estado de la planta en cuanto al consumo energético, y de esta manera, enfocar los esfuerzos a los procesos y equipos con mayor potencial de mejora.

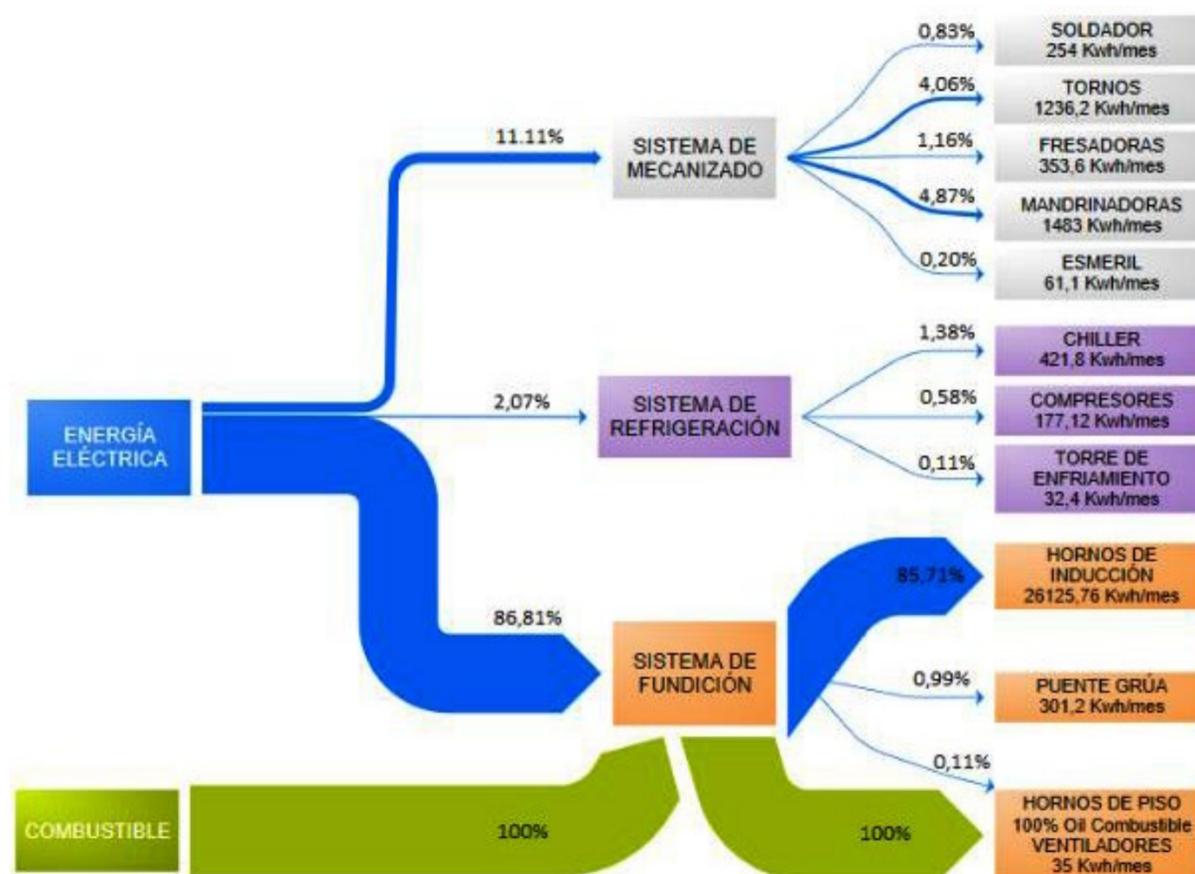


Fig. 2. Diagram de Sankey.
Fuente: Autores.

Después de instalar medidores de energía en los principales equipos de las tres diferentes áreas, los esfuerzos se centraron en los sistemas de fundición (Fig. 2). Ahora bien, gracias al diagrama de Pareto, presentado en la Fig. 3, se pudo establecer que, dentro del área de fundición, el mayor consumo de energía eléctrica se encontraba en los Hornos de Inducción (H1, H2, H3). De esta manera, nuevos medidores de energía fueron instalados de forma permanente en estos equipos, convirtiéndose, esta actividad, en el primer paso para mejorar el desempeño energético de la empresa. Estos dispositivos permitieron conocer los verdaderos consumos de estos equipos, desde el momento del arranque y precalentamiento, hasta el momento de finalización. La adquisición de estos equipos, sumados al constante flujo de información de consumos energéticos y producción, demuestran el papel fundamental que juega la alta gerencia en un proyecto de estos.

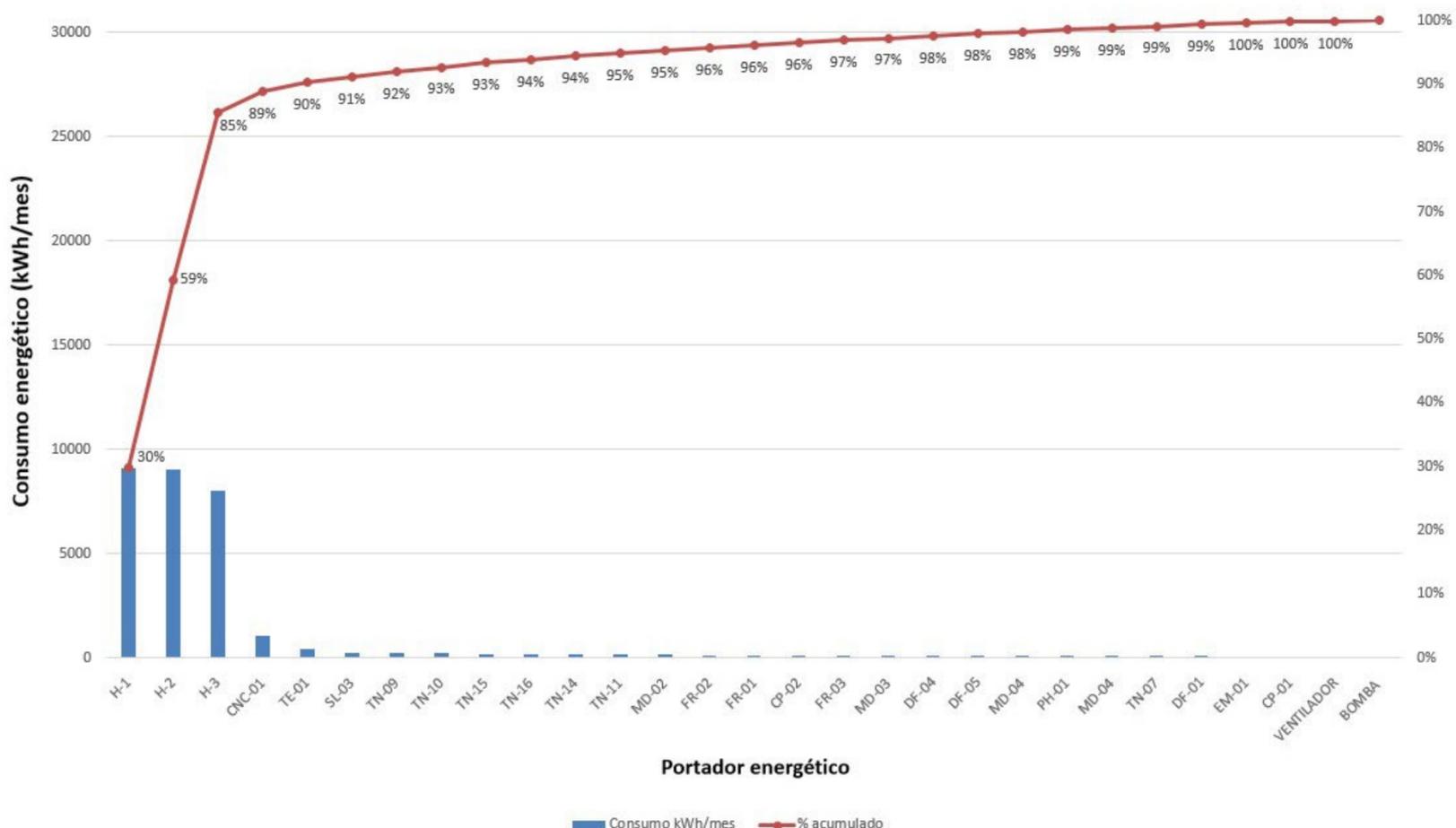


Fig. 3. Diagrama de Pareto.
Fuente: Autores.

La identificación de los usos significativos de energía, se realiza mediante la definición de las áreas y equipos que más costos y consumos energéticos tengan y posean mayores potenciales de ahorro. Debido a la cantidad de referencias de metal que funden en los hornos de inducción, se hace necesario realizar una producción equivalente, pues un kilogramo de un tipo de referencia puede tener un consumo de energía significativamente diferente, a un mismo kilogramo de otro tipo de referencia. Esta producción se determina como aquella producción de la referencia estándar que consume la misma cantidad de energía que la producción dada de la referencia [7]. Si se conoce el modelo de variación del consumo de energía con la producción realizada, tanto para la referencia tomada como estándar RE, cómo para una referencia cualquiera R1 [8].

$$C_{RE} = m_E * P_{RE} + E_{oE} \quad (1)$$

Donde P_{RE} son las unidades de producción de la referencia tomada como estándar, E_{oE} es la energía no asociada a la producción de la referencia tomada como estándar (1).

$$C_{R1} = m_{E1} * P_{R1} + Eo_{R1} \quad (2)$$

Donde P_{R1} son las Unidades de referencia diferente a la estándar. Eo_{R1} es la energía no asociada a la producción de la referencia diferente a la estándar (2).

Igualando las dos ecuaciones se obtiene la siguiente expresión (3).

$$C_{RE} = (m_{R1} * P_{R1} + Eo_{R1} - Eo_E) / m_E \quad (3)$$

Donde, P_{RE} son las unidades de referencia estándar equivalentes a otra referencia.

Para obtener la producción equivalente de cada una de las referencias, se hace necesario establecer cuál va a ser la referencia estándar, que generalmente es la que más se produce, y encontrar la ecuación que define el modelo lineal de cada una de las referencias y reemplazar en (3).

Después de obtener la producción equivalente se define el período de tiempo base que cubre la influencia de las variables significativas sobre el consumo de energía. Para el presente estudio se definió un período con datos históricos de un año, tomando registros cada semana, para un total de 52 datos de consumo de energía semanales (KW-h/semana), debido a la cantidad de datos de consumo con los que se cuenta. Posteriormente, se realiza la definición de la muestra de datos mínima que simplifica de manera segura el total de datos que se tienen para el estudio, garantizando los resultados de manera confiable y precisa.

La definición de una variable significativa independiente de operación y mantenimiento se logra con la herramienta estadística “P-value” que permite determinar si la asociación es estadísticamente significativa. Esta variable es la que compone la línea base, junto a los consumos energéticos, y no depende de operación y mantenimiento, por lo tanto, no se puede actuar sobre ella. Con el fin de obtener una correlación más fuerte se debe realizar un filtrado de datos atípicos, sin disminuir más datos que los obtenidos en la muestra mínima.

Para verificar que los resultados obtenidos de la línea base no son casuales se realiza la prueba de estadígrafo F, con el fin de verificar que la relación obtenida sea real; adicionalmente se debe realizar la prueba de que cada variable tomada en el eje X (Variable significativa) realmente inflencie el valor de Y (consumos de energéticos), esto se logra determinando el valor “T student” y comparándolo con el valor crítico de la tabla “T student”.

Uno de los objetivos del estudio es determinar la línea meta, la cual describe el potencial de ahorro que puede manejar la planta, para ello se hace necesario calcular el consumo teórico y relacionar la diferencia con la producción. La línea base de índice de consumo permite conocer cómo varía el consumo de energía por unidad de producción.

III. RESULTADOS

Siguiendo la metodología planteada, inicialmente se obtiene un diagrama energético productivo que muestra el comportamiento energético de la empresa y las energías inyectadas a cada proceso.

El diagrama de Sankey (Fig. 2) muestra cuánto porcentaje de consumo de la energía total de la planta se emplea en los diferentes equipos, arrojando como resultado, que la mayor parte de consumo de energía eléctrica se encuentra en el proceso de fundición, siendo que los demás procesos aportan un consumo de energía muchísimo menor a este.

Según el diagrama de Pareto, construido con los datos de consumo de cada equipo, se asigna las prioridades del estudio a los hornos de inducción (H1, H2, H3), pues estos representan el 85% del consumo energético de la planta.

Anteriormente se habló de definir una variable independiente de operación y mantenimiento como la variable significativa que va a constituirse como variable independiente en la línea base. Para definir esto se consideran las variables dependientes de operación como las que pueden ser controladas por la operación de forma manual o automática, como la potencia inicial y el tiempo de precalentamiento de los hornos de inducción, y las variables dependientes de mantenimiento como las que pueden ser controladas por la actividad de mantenimiento de forma manual o automática, como el nivel de vibraciones de los motores, las fugas de aceite y el estado de los ventiladores de los motores.

Ahora bien, dado que en esta planta se producen varias referencias, para la obtención de esta variable significativa, independiente de operación y mantenimiento, se requiere llevar todas las referencias a una producción equivalente. Dado que es la referencia que más producción tiene en la planta, se toma como referencia estándar el acero 3010, de esta forma se obtiene una producción equivalente definida por (4):

$$Prod. equiv = \sum_{x=1}^X P_X \left(\frac{\bar{ic}_X}{\bar{ic}_m} \right) \quad (4)$$

Donde:

- P_X = Cantidad de un material X.
- \bar{ic}_X = Índice de consumo promedio de un material X.
- \bar{ic}_m = Índice de consumo promedio del material de mayor consumo específico.

De esta manera se define una producción equivalente, con la cual la línea base arroja una correlación entre las variables mucho más acertada, y con la posibilidad de agrupar los datos según el período base de tiempo semanal.

La definición de la muestra mínima de datos arroja que el número de datos necesario para realizar el análisis es de 11, y debido a que el número de la muestra inicial no sobrepasa significativamente este número, se trabaja con el total de la muestra.

La variable significativa calculada (producción equivalente) cumple con la evaluación estadística “P-value”, determinando que la asociación entre esta variable y el consumo de energía es estadísticamente significativa.

De esta manera y con las consideraciones anteriores, se obtiene la siguiente línea base (Fig. 4).

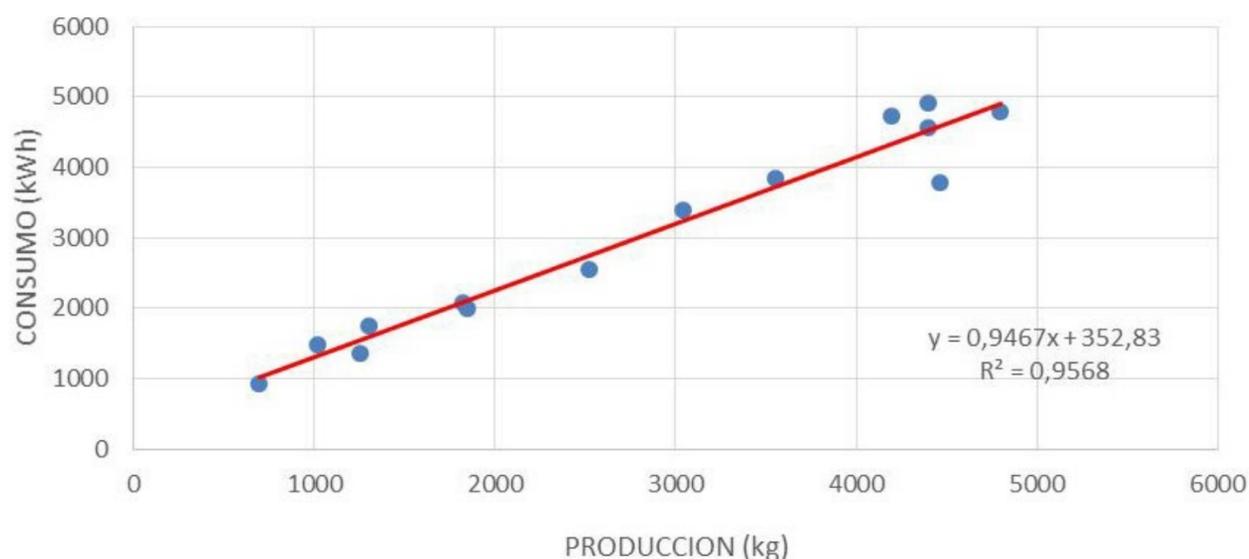


Fig. 4. Línea base.
Fuente: Autores.

En este caso el $R^2 = 0,95$ demuestra que una proporción grande de la variación del consumo de energía está explicada por las variables que componen el modelo, adicionalmente la dispersión de los datos, al ser tan bajo, ayuda a que esta proporción sea mayor. Esta dispersión indica la variabilidad del consumo de energía para iguales valores de producción debida a variables dependientes de operación y mantenimiento.

Para demostrar la influencia de la variable significativa, independiente de operación y mantenimiento, sobre el consumo de energía, se determina el valor de “T student” y se compara con el valor de tabla de distribución “T-student”. Siendo que los resultados de esta comparación arrojaron que el valor de los kilos de fundición de la producción equivalente es significativo en el valor del consumo de energía.

Después de tener la certeza de que el modelo es real y coherente, se puede plantear una línea meta, basada en los potenciales de ahorro que se encuentran en la planta.

Para ello se evalúa la producción actual en la ecuación que define la línea base, obteniendo un consumo teórico, la diferencia entre el consumo real y el consumo teórico indica los datos que se encuentran por debajo de la línea base y con los cuales se elabora la línea meta. La diferencia entre la línea base y la línea arrojan los potenciales de ahorro para niveles de producción similares de 3367 KW-h/semana (Fig. 5).

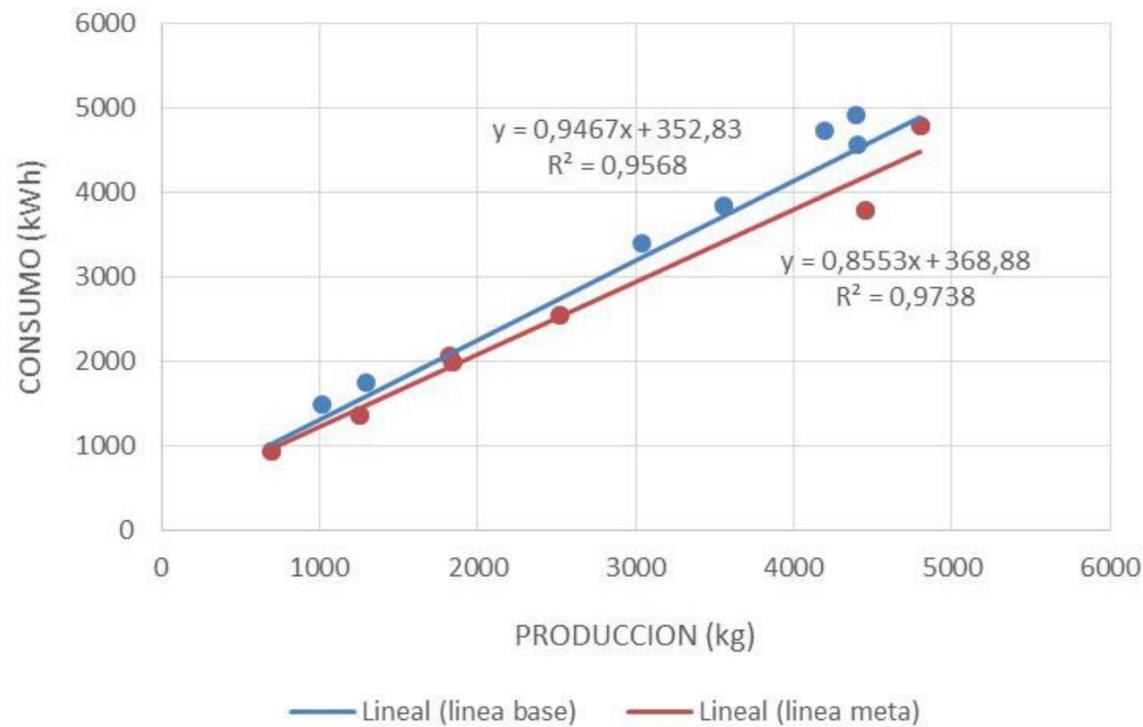


Fig. 5. Línea meta y línea base.
Fuente: Autores.

Con relación al índice de consumo, se modela buscando probar que, al aumentar la producción, el gasto energético por unidad de producto disminuya (Fig. 6). De esta forma se comprueba la importancia de utilizar los hornos de inducción en su máxima capacidad. Para esto se hace necesario encontrar una producción que se encuentre dentro del rango de la producción actual, y posteriormente evaluar esta producción en la ecuación de la línea base para encontrar el consumo de energía teórico, que al dividir entre la producción, suministra los datos para formar la base del índice de consumo (línea roja de la Fig. 7).

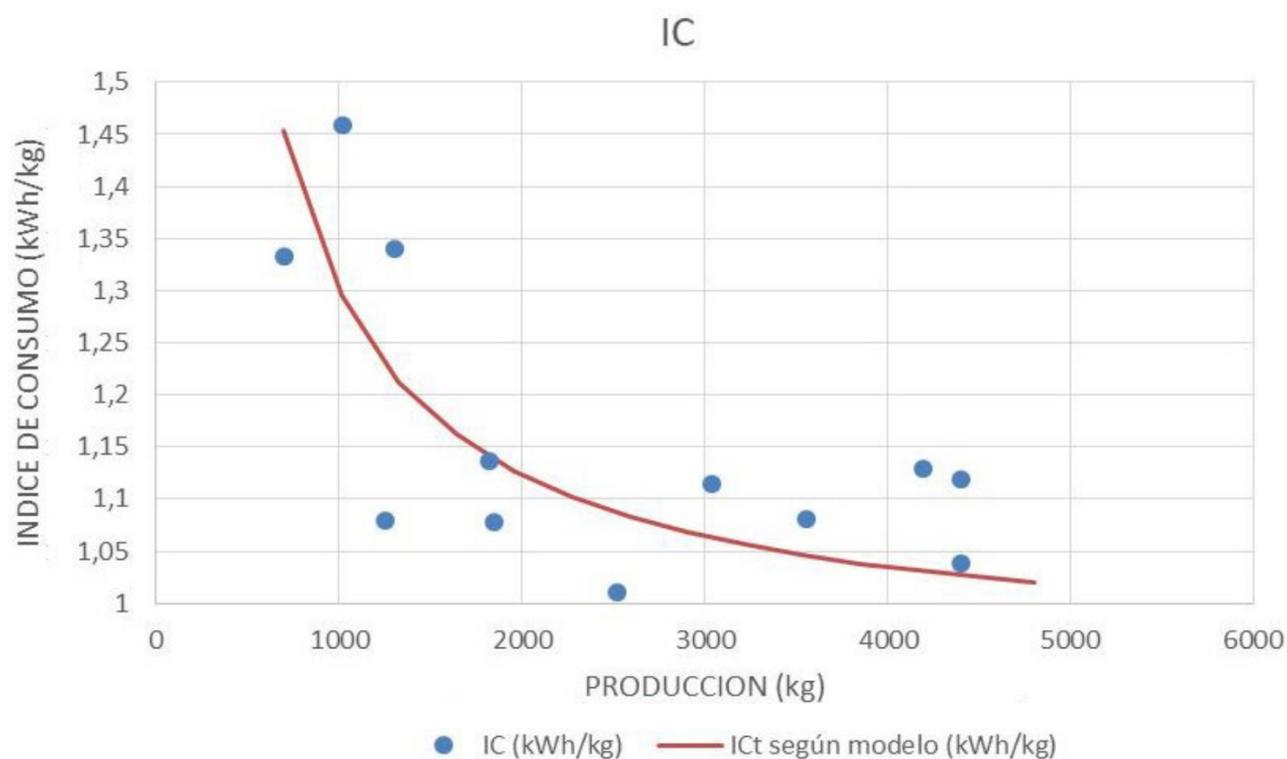


Fig. 6. Grafica índices de consumo.
Fuente: Autores.

Ahora bien, para determinar el valor del índice de consumo energético adecuado se procede a encontrar la segunda derivada de la línea base del índice de consumo, lo cual se puede observar en la Fig. 7.

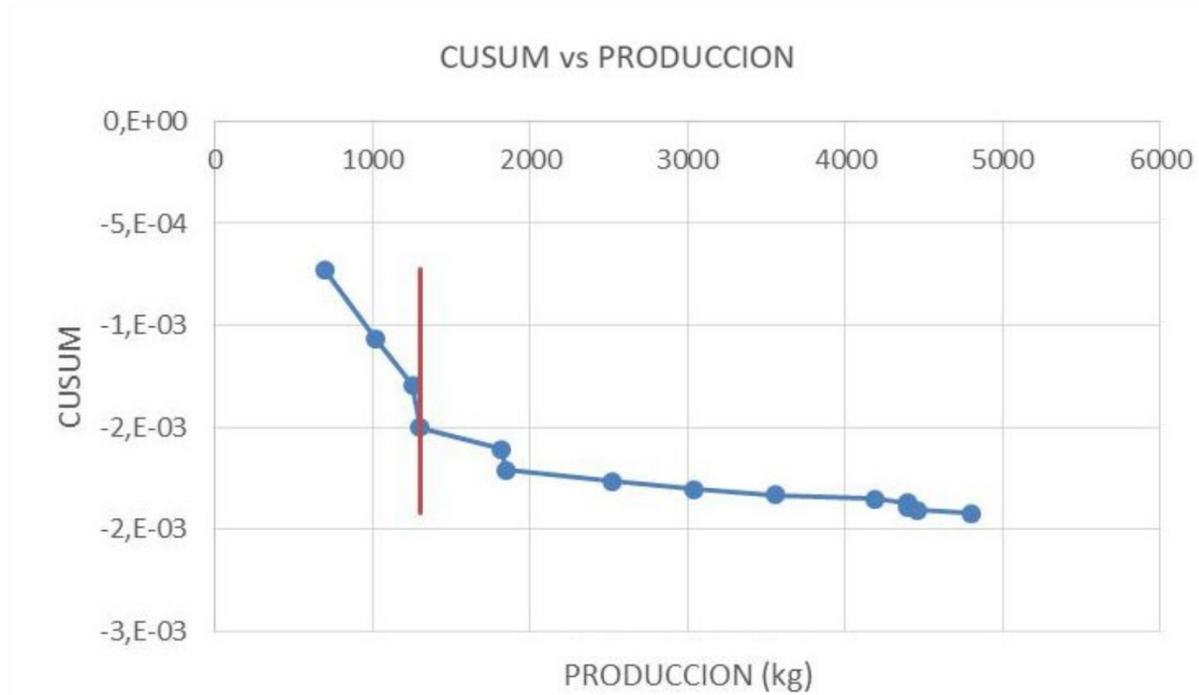


Fig. 7. Segunda derivada del índice de consumo por producción.
Fuente: Autores.

Finalmente se muestra el punto de quiebre entre la zona de alto y bajo índice de consumo, tomándose 1230 Kg como la producción crítica.

IV. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones, que a continuación se presentan, se plantean por cada USE (Uso Significativo de Energía) presente en la planta industrial (Tabla I).

TABLA I.
MATRIZ DE MEDICIÓN

USE	Medición Ideal	Instrumentación existente	Requerimiento	Tipo de registro
Sistema de fundición.	Potencia de los hornos, temperatura.	Medidor de consumo de energía eléctrica.	Termómetro.	Diario.
Sistema de mecanizado.	Potencia, velocidad angular, tensión, corriente, factor de potencia.	Ninguno.	Medidor de consumo de energía eléctrica, analizador de armónicos.	Diario.
Sistema de enfriamiento.	Temperatura del agua de entrada, consumo eléctrico, potencia.	Ninguno.	Medidor de consumo de energía eléctrica, flujometro.	Semanal.

Fuente: Autores.

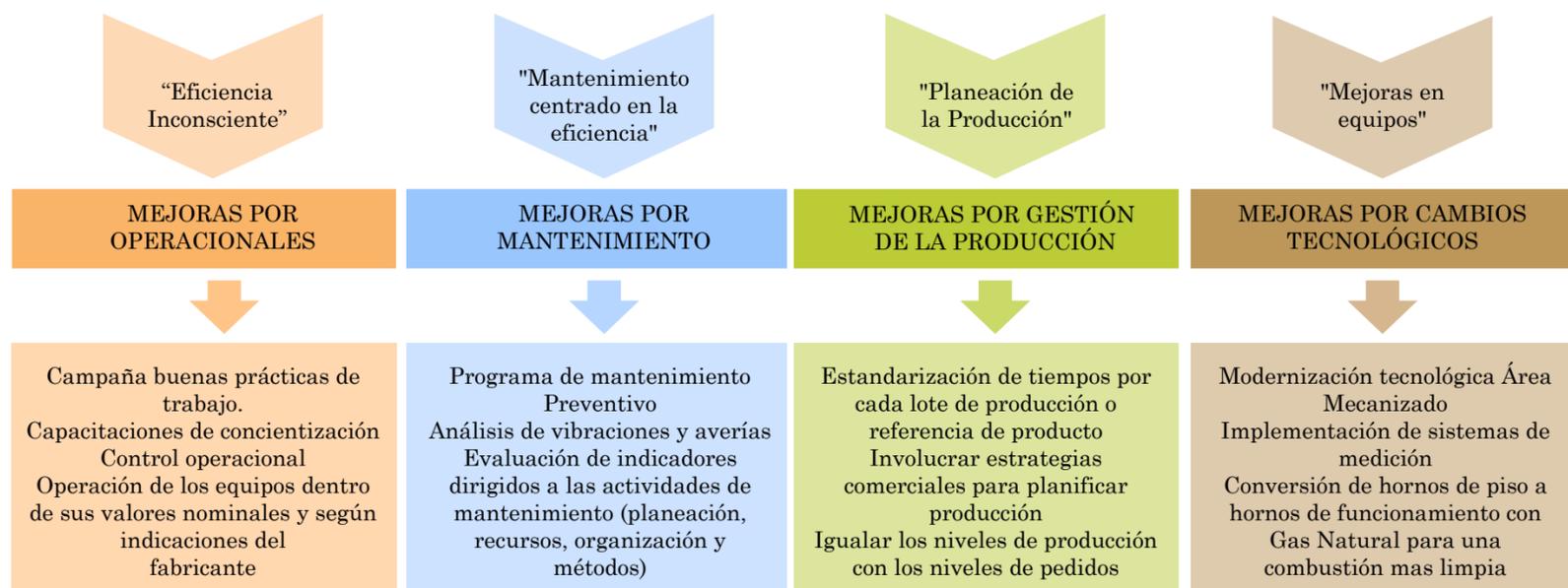


Fig. 8. Oportunidades de mejora.
Fuente: Autores.

IV. CONCLUSIONES

Los procesos descritos a lo largo del documento representan la revisión energética de la organización, se identifican las áreas que representan los Usos Significativos de la Energía de manera cuantificable, por medio de los datos suministrados por la empresa, que corresponden a los históricos de producción y consumo de portadores energéticos. Además, realizando las actividades de revisión energética para generar una línea base, se logran generar planes de acción enfocados al aumento de la eficiencia energética, dando potenciales de ahorro de 3367 Kw-h para un de una semana. También se determinó una producción crítica cercana a las 1230 Kg/semana para evitar una influencia significativa de las producciones debajo de valores nominales.

REFERENCIAS

- [1] RECIEE, “Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética.” *reciee.com*. Available: <http://reciee.com/> (2016)
- [2] S. Backlund, P. Thollander, J. Palm & M. Ottosson, “Extending the energy efficiency gap,” *Energy Policy*, vol. 51, pp. 392–396, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.042>
- [3] IEA, World Energy Outlook 2019, IEA, PAR, FR, *WEO*, Nov. 2019. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>
- [4] TERI & COINDIA, *Energy Efficiency Best Operating Practices Guide for Foundries*. COINDIA: ND, IN, 2015. Available: <http://sameeksha.org/brouchres/BOP-Guide-Oct2015.pdf>
- [5] Energy management systems, *ISO 50001*, International Organization for Standardization, ISO, GVA, CH, 2018. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:50001:ed-1:v1:en>
- [6] O. Prias & D. Montaña, “Modelo Estratégico de Innovación para impulsar la Gestión Energética en Colombia,” *Energética*, no. 44, pp. 61–68, 2014. Available: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/energetica/article/view/45309>
- [7] R. Castrillon, E. Quispe, A. Gonzalez, M. Urhan & D. Fandiño, *Metodología para la implementación del Sistema de Gestión Integral de la Energía: Fundamentos y casos prácticos*. CA, Col.: UAO, 2014. Available: <http://hdl.handle.net/10614/9138>
- [8] O. F. Prias & J. C. Campos, *Implementación de un sistema de gestión de energía*. Bogotá, D.C.: UNAM, Colciencias, UA. 2013. Available: [http://reciee.com/pdf/2013%20-%20Implementaci%C3%B3n%20SGIE,%20Gu%C3%ADa%20con%20Base%20ISO%2050001%20\(1\).pdf](http://reciee.com/pdf/2013%20-%20Implementaci%C3%B3n%20SGIE,%20Gu%C3%ADa%20con%20Base%20ISO%2050001%20(1).pdf)