

Implementación de un sistema de Gestión de la Energía Guía con base en la norma ISO 50001

segunda versión

Implementación de un sistema de Gestión de la Energía

Guía con base en la norma ISO 50001:2018

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA

GUIA CON BASE EN LA NORMA ISO 50001

Segunda Edición

RED COLOMBIANA DE CONOCIMIENTO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA - RECIEE

Omar Fredy Prias Caicedo - Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá

Juan Carlos Campos Avella - Universidad del Atlántico

David Bernardo Rojas Rodríguez – Universidad Nacional de Colombia

Adriana Palencia Salas – Universidad del Atlántico

Revisión:

Rosaura Castrillón - Universidad Autónoma de Occidente

Financiación segunda edición:

Programa de Eficiencia Energética Industrial en Colombia (EEI-Colombia):

- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME):

Carlos García Botero – Subdirector de Demanda

Olga Victoria Gonzalez Gonzalez – Asesora Subdirección de Demanda, Líder Técnico Programa EEI Colombia

- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI):

Marco Manteini – Director Unidad de Eficiencia Energética Industrial

Ricardo Baquero – Coordinador Técnico Programa EEI Colombia

Primera edición, 2013

Segunda edición, 2019

ISBN 978-958-761-597-5

E. Operación de un SGE

Las actividades de operación se asocian a las tareas que la empresa realiza para lograr las mejoras de desempeño organizacional en sus actividades rutinarias. Se asocian directamente al personal productivo y de mantenimiento, y a las actividades de compra y diseño de la organización, como actividades de soporte relacionadas con cambios en la organización que permitirán soportar una operación eficiente a lo largo del tiempo.

En la ilustración 26 se muestran un esquema de estas actividades y en las siguientes secciones se describen las actividades y herramientas relacionadas.

Ilustración 26. Actividades de operación del SGE



2.14. Control operacional y mantenimiento en función del desempeño energético.

Para cumplir con los objetivos del SGE, la organización debe planificar, implementar y controlar procesos relacionados con sus USE. Para ello se deben establecer criterios de operación y mantenimiento que eviten desviaciones significativas del desempeño energético.

El control operacional en los USE consiste **en definir los rangos en los que deben moverse las variables relevantes para garantizar una operación eficaz y establecer las acciones necesarias** para retornar el valor de la variable a su rango normal en caso de desviaciones.

Los rangos de las variables relevantes se pueden identificar de diferentes formas mediante análisis de datos utilizando métodos de analítica descriptiva, *machine learning*, *digital twins* u otros y verificando los resultados con las características de comportamiento técnico de los equipos.

La metodología propuesta en la presente guía para el establecimiento de dichos criterios es la siguiente:

- Analizar los USE y variables relevantes determinadas en la revisión energética.
- Para cada variable relevante identificada determinar el rango operacional máximo-mínimo, utilizando las operaciones de mejor comportamiento en el periodo base.
- Comparar el rango obtenido con la ventana operacional de integridad establecida en los manuales del fabricante, de diseño o instructivos operacionales y corregirlos si es necesario.
- Identificar en los datos del periodo base todas aquellas operaciones que cumplen con los rangos de control establecidos para las variables relevantes y validar mediante un gráfico de tendencia para estos datos, que la tendencia sea siempre al ahorro.
- Socializar los resultados con el personal clave del USE (operadores, supervisores, área de ingeniería). Realizar ajustes de ser necesario.
- Realizar una prueba piloto y si es satisfactoria incorporar los nuevos rangos de control a los procedimientos operacionales y de mantenimiento de la organización.

Ejemplo:

A continuación, se presenta un ejemplo en el que se seleccionaron los valores de menores consumos de energía del periodo base y con ellos se determinaron los rangos máximo-mínimos de las variables relevantes de un sistema de bombeo.

Tabla 16 Ejemplo establecimiento de criterios de control en un sistema de bombeo

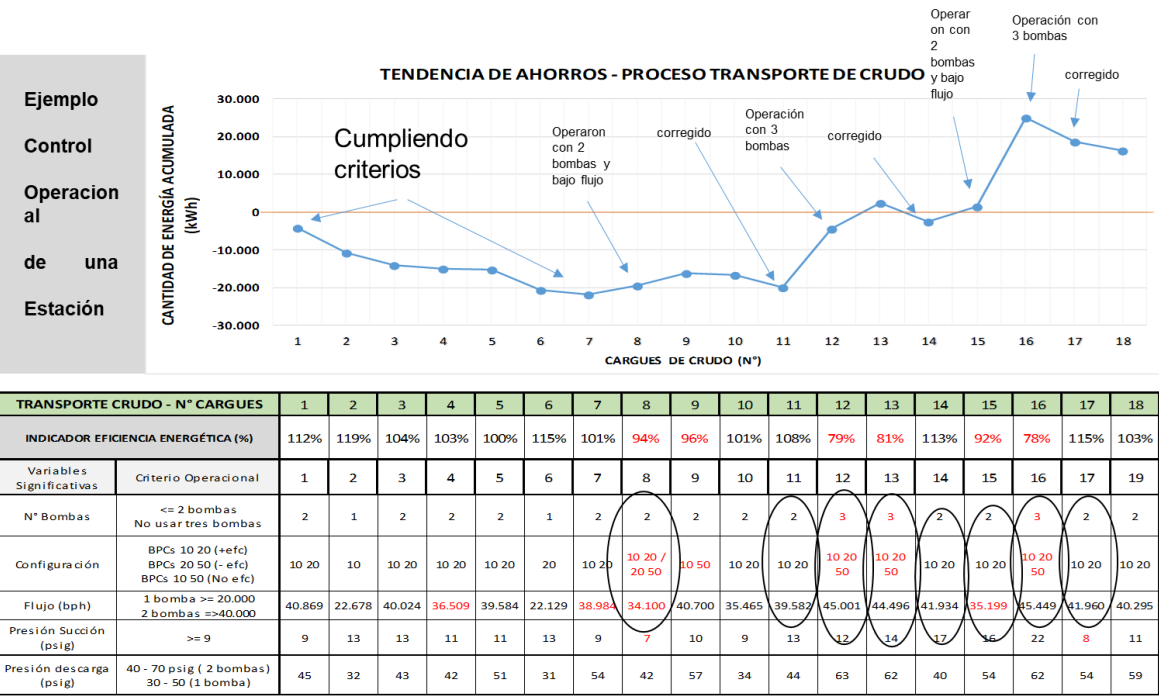


Ilustración 27 Ejemplo de Control Operacional en una estación de Bombeo

El grafico anterior muestra la tendencia del desempeño energético de las operaciones del sistema de bombeo y una tabla donde se registra el valor que toman las variables relevantes identificadas.

Se identificaron como variables relevantes las siguientes:

- El número de bombas en funcionamiento
- El tipo de configuración de las bombas usadas
- El flujo bombeado
- La presión de succión del sistema
- La presión de descarga del sistema.

Los criterios o rangos operacionales identificados que brindan mejor desempeño energético son:

- Nunca usar más de 2 bombas
- Usar siempre que se pueda las configuraciones de bombas más eficientes (identificadas en el trabajo)
- Para flujos mayores a 40.000 barriles por hora, usar 2 bombas
- Trabajar con presiones de succión de 9 psig
- Trabajar con presiones de descarga de 30-50 psig para 1 bomba y de 40-70 psig para 2 bombas.

En el gráfico se puede apreciar que las tendencias de mejora se presentan cuando se cumplen los criterios. Igualmente se observa que cuando algún criterio no se cumple se presentan tendencias a empeorar el desempeño.

Una vez establecidos los criterios, se deben comunicar al personal pertinente. Es decir, a aquel personal relacionado con la operación y mantenimiento del USE (sea personal interno o subcontratista).

En muchos casos se realiza un taller de socialización, reunión, formación, charla u otro evento para ajustar y aprobar los criterios propuestos. Debe existir registro de dicha comunicación o actividad de socialización.

Posteriormente dichos criterios deberán incluirse en los procedimientos operacionales y de mantenimiento existentes en la organización. De igual forma deberá incluirse el procedimiento de control y registro.

A continuación se presenta una secuencia de pasos que permitirá establecer un control operacional adecuado en función del desempeño energético:

1. Seleccionar los usos significativos de energía identificados en la Revisión Energética a los cuales se le aplicara el Control Operacional.
2. Identificar los regímenes de trabajo típicos de los usos significativos de energía (generalmente son: arranque, operación normal, parada, pero puede existir también cambio de producto, trabajo en vacío, calentamiento, enfriamiento, etc....)
3. Identificar y revisar cómo deberían ser operados los equipos y/o sistemas en cada régimen de trabajo.
4. Revisar cuáles son los criterios recomendados o establecidos para cada USEn y régimen de trabajo. Para esto se debe tener en cuenta los manuales de operación, recomendaciones de fabricantes, los criterios de calidad y medio ambiente, sugerencias de expertos, procedimientos de operación estándar, registros de los operadores, experiencia, estado de los equipos, sugerencias del personal que trabaja en los USEn, parámetros críticos de operación.
5. Identificar cuáles de los criterios establecidos para cada régimen de trabajo impactan el desempeño energético del uso significativo de energía, verificar el tipo de registro que se tiene y si cumple con las recomendaciones realizadas en este aspecto de la Guía.
6. Identificar nuevos criterios. Es posible que los criterios actuales no involucren todas las variables que impactan el desempeño energético.
7. Registros definitivos del control operacional. Incluir los nuevos criterios operacionales en los registros y procedimientos actuales de operación. Es importante que se incluya el valor estándar, sus valores máximos y mínimos y las actividades a realizar en casos de desviaciones. También se debe tener en cuenta los diferentes regímenes operacionales a que este sometido el USE.
8. Identificar criterios de mantenimiento. Tener en cuenta la metodología de RCM (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiability), TPM (mantenimiento productivo total), OEE (Eficiencia General de los Equipos), buenas prácticas de manufactura, tecnologías e innovaciones, considerando falla funcional del Uso Significativo de Energía (USE) la pérdida de su eficiencia, determinar aquellas actividades de mantenimiento que deben incluirse en el programa de mantenimiento de ese USE.
9. Actualizar los procedimientos de mantenimiento teniendo en cuenta los nuevos criterios identificados.
10. Realizar comunicación y entrenamiento: Es necesario socializar los cambios en los criterios operacionales de los USE y en la actividad de mantenimiento con los ejecutores, supervisores y demás personal involucrado. De igual forma si existen cambios en los registros operacionales es importante mostrar sus requerimientos y aclarar la frecuencia, las unidades de medida, las actividades a realizar para corregir las desviaciones y los riesgos en caso de existir.
11. Operar de acuerdo a los criterios operacionales definidos
12. Verificar el control operacional de los USE y retroalimentar al personal pertinente del desempeño de esta actividad. Para dicha verificación se proponen las siguientes actividades:

- Recopilar la información necesaria para el seguimiento (energía, producción, variables relevantes de los USE, etc)
- Evaluar diariamente los IDE y el cumplimiento de los criterios operacionales.
- Analizar y registrar los resultados de los IDE.
- Identificar las causas de las desviaciones.
- Definir las acciones para corregir las desviaciones que se presenten.
- Implementar las acciones para corregir las desviaciones.
- Verificar los resultados de la implementación de acciones.
- Revisar las consecuencias de los cambios no previstos.
- Realizar reunión semanal con equipo de energía para verificar los resultados de los IDE y criterios operacionales.
- Establecer oportunidades de mejora.

Ejemplos

A continuación se presentan ejemplos de variables relevantes dependientes de la operación y el mantenimiento (Tabla 17), un formato de identificación de variables de mantenimiento (Tabla 18) un formato de planeación de la operación para situaciones de contingencia (Tabla 19) y un ejemplo de control operacional (Ilustración 28).

Tabla 17. Ejemplos de variables relevantes relacionadas con la operación y el mantenimiento

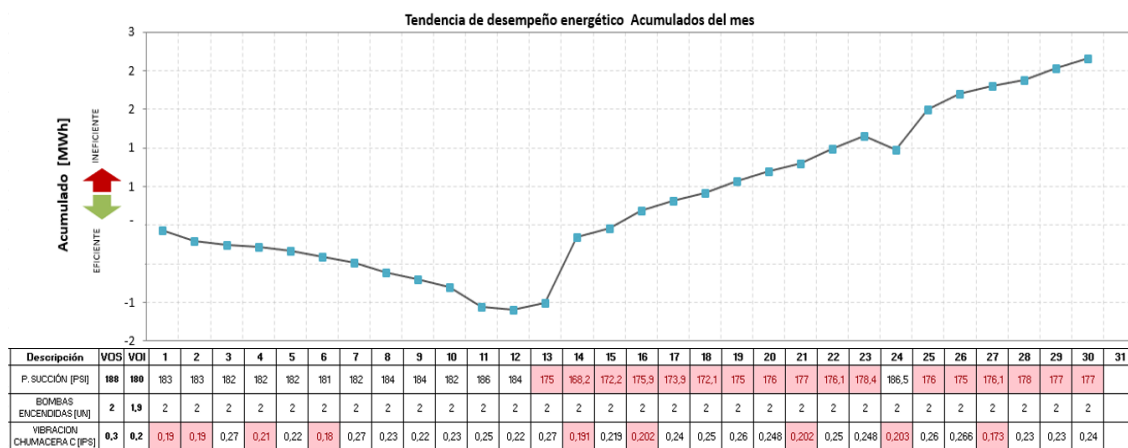
Variables relevantes relacionadas con la operación	Ejemplos de variables relacionadas con mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad del proceso • Presión, temperatura, humedad, densidad, rpm, flujos, frecuencias, nivel, concentración, etc. • Tiempo de arranque y de parada • Tiempo de cambio de producto • Tiempos de enfriamiento o calentamiento. • Tiempo de cargue y descargue, • Tiempo de apertura y cierre. • Porcentaje de aperturas de válvulas. • Secuencias de parada • Tiempo de trabajo en vacío o tiempos perdidos • Coordinación entre áreas productivas • Número de recirculaciones • Cantidad de rechazos • Cantidad de reprocesos 	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencias de limpieza • Frecuencias de inspecciones • Frecuencias de ajuste • Frecuencia de cambio de equipos • Tiempo de detección de fallas • Tiempo de reparación de averías • Frecuencia de averías. • Supervisión de los niveles de eficiencia energética de los equipos y procesos • Cumplimiento de fechas de recambio o reposición de partes y equipos

Tabla 18 Formato de identificación de Variables de control del mantenimiento

Equipo	Variable de control	Sistema Involucrado	Efecto	Mantenimiento	Frecuencia
Generador de vapor	Ajuste en la combustión	Combustión	Exceso de aire	Inspecciones presiones de entrada y salida, fugas	semestral
	Ensuciamiento	superficie de calefacción	Alta temperatura de gases	Limpieza	Mensual
	Deterioro de asilamiento	Superficie del equipo	Perdidas de calor al medio	Inspección	Semestral
	Desajuste válvula regulación de presión de gas	Sistema de combustible	Empeoramiento de la combustión	Inspección	Semestral
	Desajuste sistema control de combustión	Sistema de control	Empeoramiento de la combustión	Inspección	Semestral

Tabla 19 Formato de Control operacional en situaciones de contingencia

USE	Parámetro de control	Situación de contingencia	Estrategia	Responsable del cambio operacional	Observación
Generador de vapor	Relación aire/combustible	Cambio de combustible	Cambio y de ajuste de sistema de combustible	Operador	Nivel de ocurrencia: ocasional
	Tipo de equipo a utilizar	Parada de áreas productivas y 2	Arranque de caldera de menor capacidad	Operador	Nivel de ocurrencia: Mantenimientos generales programados



- 3 Bombas de inyección de 2250 HP
- Sin variador de velocidad
- Control de flujo por válvulas
- Arrancador suave

- No registran nivel de estrangulamiento de válvula de descarga
- No registran punto de operación bomba

Acumulado = Suma Acumulativa (E real – E LB)

Ilustración 28 Ejemplo Control Operacional

Caso control operacional del desempeño energético en un horno atmosférico de destilación de crudo

Los hornos atmosféricos del proceso de destilación de crudo son los de mayor consumo de energía en los procesos de refinación

En el proceso de revisión energética, se identificó una alta variabilidad del consumo de combustible del horno, para iguales valores de carga suministrada al horno, en barriles de petróleo día. Esta variabilidad ocurre a cualquier nivel de carga del horno y su valor promedio fue del 20% del consumo promedio del horno.

Lo anterior puede producir sobreconsumos diarios de energía de hasta 800 MMBTU/día, equivalentes a 233.600 MMBTU/año y USD 1.168.000/año.

Relación consumo de gas y Producción del Horno

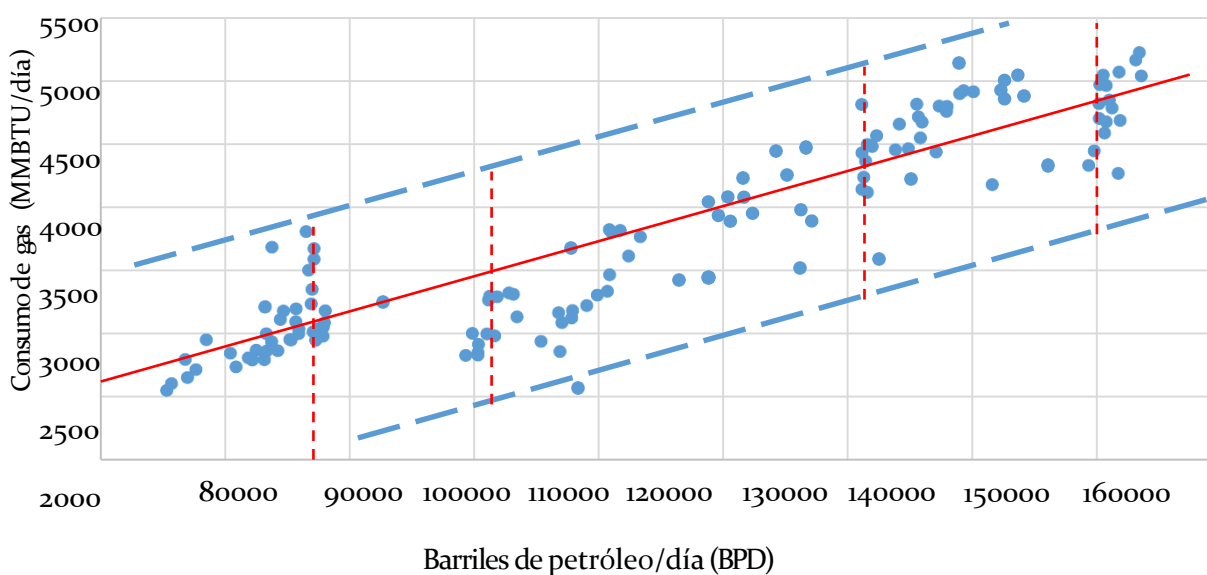


Ilustración 29 Relación consumo de Gas y producción del horno

Las variables operativas del Horno que se miden y registran son las siguientes:

VARIABLES OPERATIVAS HORNO		DISEÑO
Capacidad (BPD)		147.7
Duty absorbido (MM BTU/h)		206.01

Poder Calórico gas combustible (BTU/ft³)	950
Temperatura de entrada (°F)	592.1
Temperatura de salida (°F)	705.8
Tiro en zona de choque (in de H ₂ O)	-0.1
Residual de Oxígeno (%)	3,00
Temperatura de gases de combustión (°F)	353

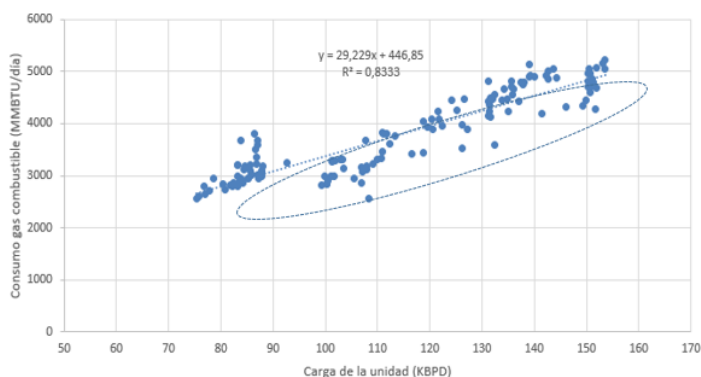
Aplicando una herramienta estadística se determinó que la variación de los grados API de la carga no influyen en la variación del consumo de energía del horno, sin embargo, el resto de las variables si muestran influencia significativa. El 96,5% de las variaciones del consumo dependen de ellas, por lo que quedan como variables relevantes del horno las siguientes:

- Valor calórico del gas combustible PCI (Btu/ft³);
- Temperatura de entrada del crudo al Horno T entrada (°F);
- Temperatura de salida del crudo del Horno T salida (°F);
- Tiro de gases de combustión en el interior del Horno (in H₂O);
- Contenido de oxígeno en gases de chimenea del Horno. (% O₂)
- Carga del Horno. BPD (barriles de crudo/día)

Utilizando el periodo de datos base del Horno de estas variables, se determina la línea base de consumo de energía del horno en función de BPD:

Línea base: $E = 29,229 \cdot P + 446,85$ [MMBTU/d]

P: BPD. Variable no controlable



ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN	
Coefficiente de correlación múltiple	0,9
Coefficiente de determinación R ²	0,83
R ² ajustado	0,83
Error típico (MMBTU/día)	323,8
Nivel de significación	95%
Valor crítico de F	2,23 E-54

Utilizando las mejores operaciones del periodo base del horno en cuanto a consumo de energía se determinan los rangos operacionales de las variables relevantes. Si durante la operación se mantienen esos rangos se espera sostener el consumo de energía por debajo de la línea base.

Los rangos identificados se comparan con los de diseño y se socializan con el personal clave del horno, al final queda la recomendación de rangos operacionales definidos para el control operacional del horno.

RANGOS RECOMENDADOS PARA VARIABLES OPERATIVAS SIGNIFICATIVAS

Variable operacional	Ventana operacional	Rangos identificados	Valores de Diseño	Recomendación
PCI (Btu/ft ³)	Límite Inferior	879,94	898	898 - 963,5 Btu/pie ³
	Límite Superior	963,5	1045	
T entrada (°F)	Límite Inferior	582,51	597	585 - 597 °F
	Límite Superior	596,69		
T salida (°F)	Límite Inferior	673,86	700	675 - 689 °F
	Límite Superior	689,12		
Tiro (in H ₂ O)	Límite Inferior	-0,39	-0,1	Tiro -0,1 in H ₂ O y Máx. -0,39
	Límite Superior	-0,27		
Oxígeno (%)	Límite Inferior	2,67	3	entre 2,77% (a altas cargas) y máximo 4,38%
	Límite Superior	5,03		

Se realizaron protocolos de pruebas con valores recomendados

Tabla 20 Protocolo de pruebas con valores recomendados

DATOS DE LAS OPERACIONES REALIZADAS DENTRO DE LOS RANGOS DE VALORES RECOMENDADOS							
Día	Consumo (MMBTU/día)	Carga (KBPD)	PCI 898 - 963,5 Btu/pie ³	T in 585 – 597 °F	T out 675 -689 °F	Tiro -0,1+0,39 pulg H ₂ O	% exceso de O ₂ 2,77- 4,38%
1	4464,72	134,88	945,07	588,95	676,70	-0,37	3,84
2	4224,32	135,07	945,32	592,45	678,16	-0,39	4,04
3	3443,19	118,84	900,31	594,15	679,69	-0,37	4,38
4	3460,51	110,89	898,44	596,61	686,59	-0,35	4,27
5	3318,22	102,84	923,72	593,43	688,73	-0,35	3,16
6	3292,85	101,28	912,72	587,11	676,74	-0,37	3,43
7	4679,92	150,77	941,88	587,01	679,93	-0,29	2,79
8	4591,65	150,63	931,23	587,82	680,17	-0,30	2,85
9	4451,69	149,81	894,59	585,96	680,24	-0,31	2,77
10	4336,28	149,35	890,24	584,70	679,46	-0,35	2,84
11	4182,17	141,54	929,22	588,12	679,29	-0,31	2,83
12	3516,89	126,18	934,85	591,54	677,41	-0,29	2,80
13	2937,11	105,41	928,99	588,74	675,58	-0,35	3,41
14	3085,29	107,06	896,30	589,29	675,12	-0,31	3,95
15	3178,73	107,93	950,41	591,25	676,00	-0,30	3,94
16	2912,52	100,41	883,36	594,65	678,70	-0,29	3,66

RESULTADOS

La operación produjo en promedio un 8% del consumo de energía del horno equivalentes a 721.824 USD/año

Consumo real	Carga	Consumo esperado	CR - CE	Suma Acumulativa	Porcentaje de ahorro
--------------	-------	------------------	---------	------------------	----------------------

(Según LBE)					
4.464,7	134,88	4.389,3	75,43	75,43	
4.224,3	135,07	4.394,9	-170,57	-95,14	-3,88%
3.443,2	118,84	3.920,4	-477,2	-572,34	-12,17%
3.460,5	110,89	3.688,2	-227,68	-800,01	-6,17%
3.318,2	102,84	3.452,6	-134,4	-934,41	-3,89%
3.292,8	101,28	3.407,3	-114,42	-1048,83	-3,36%
4.679,9	150,77	4.853,7	-173,74	-1222,57	-3,58%
4.591,7	150,63	4.849,7	-258,06	-1480,63	-5,32%
4.451,7	149,81	4.825,6	-373,94	-1854,57	-7,75%
4.336,3	149,35	4.812,2	-475,89	-2330,46	-9,89%
4.182,2	141,54	4.584,1	-401,88	-2732,34	-8,77%
3.516,9	126,18	4.134,8	-617,95	-3350,29	-14,94%
2.937,1	105,41	3.527,8	-590,68	-3940,97	-16,74%
3.085,3	107,06	3.576,2	-490,94	-4431,91	-13,73%
3.178,7	107,93	3.601,5	-422,8	-4854,71	-11,74%
2.912,5	100,41	3.381,8	-469,24	-5323,95	-13,88%

2.15. Diseño y adquisiciones bajo consideraciones de desempeño energético

Como parte de la operación de su SGE, la organización debe prever que los cambios en sus procesos productivos o instalaciones, tengan en cuenta oportunidades de mejora en el desempeño energético.

Esto implica abordar criterios relacionados con el desempeño energético en el **diseño, de instalaciones, procesos, sistemas u equipos** que puedan tener impactos significativos en el desempeño energético, así como involucrar criterios para la evaluación de la mejora del desempeño energético al **adquirir productos, equipos o servicios** que puedan impactar significativamente el desempeño energético.

A continuación, se describen estos dos aspectos.

Diseños con impacto significativo en el desempeño energético

Un nuevo diseño es una ampliación o modificación del proceso productivo, del área de servicios, o la incorporación de un nuevo proceso o área. Como parte de su SGE, la organización debe establecer una manera para identificar si un diseño tiene impacto significativo en el uso de la energía y de ser así, tomar medidas para asegurar que incorporen criterios de desempeño energético en el mismo.