

# Optimización del uso de la energía aplicado a horno de Keroseno en una industria dedicada a la litografía sobre metal

Fecha enviada: 18 enero 2021

Fecha corregida: 25 marzo 2021

PhD Mario René Santizo Calderón<sup>1</sup>

## RESUMEN

En este estudio práctico se analizó a través de mediciones realizadas la operación en los hornos de revestimiento e impresión de láminas de material metálico.

El objetivo principal del estudio práctico fue determinar proyectos que permitieran una operación más económica, es decir disminuir el consumo de combustible sin variar las condiciones de operación de los hornos, para así no afectar la calidad de los productos.

Para identificar los proyectos de ahorro se analizaron los diferentes flujos de energía de los hornos para así planificar los puntos de medición de temperatura, flujo, y consumos de combustible, estas mediciones se realizaron durante 3 semanas monitoreando los hornos durante toda la operación en el intervalo indicado.

Los resultados se relacionan con los niveles de producción obtenidos en fábrica de láminas revestidas e impresas de material metálico realizadas de octubre a septiembre del 2,018 y está basado en las mediciones efectuadas en el estudio.

Como resultado de las mediciones practicadas y del análisis de la información proporcionada por la empresa, se presentan los Proyectos de ahorro y Oportunidades de mejora siguientes:

1. Recuperación de calor en horno 1 de keroseno.
2. Mejorar la eficiencia de combustión en el horno 1 de keroseno.
3. Instalar extractores para la eliminación de solventes en el horno 1 de keroseno y horno 2 de gas licuado de petróleo.

Ejecutando los proyectos de inversión la empresa podría ahorrar un total de Q. 154,178.70. Y equivale a disminuir el consumo de combustible en 5,689.1 galones de keroseno por año.

**Palabras clave:** Láminas revestidas, impresión de láminas metálicas, eficiencia en hornos, recuperación de calor, eficiencia en hornos.

## ABSTRACT

In this practical study, the operation in the coating and printing furnaces of sheets of metallic material was analyzed through measurements made.

The main objective of the practical study was to determine projects that would allow a more economical operation, that is, to reduce fuel consumption without changing the operating conditions of the furnaces, so as not to affect the quality of the products.

To identify the saving projects, the different energy flows of the furnaces were analyzed in order to plan the measurement points of temperature, flow, and fuel consumption, these measurements were carried out during 3 weeks monitoring the furnaces during the entire operation in the interval indicated.

The results are related to the production levels obtained in the factory of coated and printed sheets of metallic material carried out from October to September of 2018 and are based on the measurements made in the study.

As a result of the measurements carried out and the analysis of the information provided by the company, the following savings projects and opportunities for improvement are presented:

1. Heat recovery in kerosene furnace 1.
2. Improve combustion efficiency in kerosene furnace

---

<sup>1</sup> PhD en Eficiencia Energética, MEng. En Energía Renovable y Eficiencia Energética, experto Regional en estudios de optimización de energía térmica y eléctrica y profesor en los cursos de Operaciones Unitarias y de Energía en la Maestría de Energía Renovable y Eficiencia Energética y Licenciatura en Sistemas Energéticos de la Universidad Galileo de Guatemala. Código 472 del Registro Nacional de Investigadores [RNI], proenergia.com@gmail.com

# Optimización del uso de la energía aplicado a horno de Keroseno en una industria dedicada a la litografía sobre metal

Fecha enviada: 18 enero 2021

Fecha corregida: 25 marzo 2021

3. Install extractors for solvent removal in kerosene furnace 1 and liquefied petroleum gas furnace 2.

Executing the investment projects, the company could save a total of Q. 154,178.70. And it is equivalent to reducing fuel consumption by 5,689.1 gallons of kerosene per year.

**Keywords:** Coated foils, metal foil printing, furnace efficiency, heat recovery, furnace efficiency.

## INTRODUCCIÓN

Se analizó la operación de los hornos a través de las mediciones realizadas durante 3 semanas. Luego de la fase experimental, durante 1 mes se calcularon las diferentes posibilidades de ahorro obteniéndose un ahorro equivalente a 5,689.1 galón de combustible que equivale a una disminución de combustible de del 11.61%. La industria de impresión de latas y fabricación de envases metálicos está creciendo a nivel mundial. El mercado global de envases y recubrimientos está valorado en casi \$ 105.5 mil millones en 2018. Se prevé que el valor total aumente en 1.6% año a año hasta 2023. (Oilnergy, 2008)

La pandemia, generó una contracción leve de 4.8 billones de dólares en el año 2020. El escenario para los próximos años prevé tasas de crecimiento de 3.1%, al menos el doble de la tasa de crecimiento prevista en el escenario antes de la pandemia, hasta 2025 (Smithers, 2020).

En una industria tan competitiva como la litografía sobre metal, el ahorro de costos es un aspecto importante para generar ganancias.

La optimización del uso de la energía en el horno puede brindar a la empresa una disminución sustancial de sus costos de operación y el aumento de la sustentabilidad de su producto al disminuir su huella de carbono, utilizando menos combustibles en sus procesos de calentamiento.

Al realizar el estudio de optimización se logra determinar que la industria puede ahorrar un 11.61% del combustible utilizado actualmente en el horno de Keroseno al utilizar un recuperador de calor y optimizar la eficiencia de combustión. La recuperación de la inversión simple se puede lograr en menos de un año.

## RECUPERACIÓN DE CALOR EN EL SISTEMA DE COMBUSTIÓN DEL HORNO DE KEROSENO

La recuperación de calor en sistemas térmicos se aplica a sistemas de baja, media y alta temperatura. En el caso del horno de keroseno, la posibilidad de ahorrar energía está localizada en los gases de chimenea, identificados como fuentes de recuperación de calor de temperatura media-baja.

La recuperación de calor media-baja tiene la limitación de que se debe disponer de un equipo receptor que utilice fluido de trabajo que oscile entre 60°C y 80°C; la otra opción a esta limitación es utilizar el calor recuperado indirectamente de los gases de combustión de los quemadores 1 y 2 a través de intercambiadores de calor, precalentando el aire fresco (Vanek & Albright, 2008)

Utilizando este calor recuperado indirectamente de los gases de combustión se economiza combustible debido al precalentamiento del aire en mención.

Por medio de varias mediciones realizadas a los puntos de entrada y salida de materia y energía del horno se identifican las siguientes salidas del sistema:

Temperatura de salidas del sistema

Punto de medición	Temperatura promedio
Salida de aire de cargador 1	127.0°C
Salida de aire de cargador 2	55.8°C
Salida de descarga final	50.1°C
Salida de aire frío	22.6°C
Chimenea de quemador 1	252.8°C
Chimenea de quemador 2	329.0°C

Tabla 1: Datos medidos

Se disponen dos entradas de aire fresco al sistema con las siguientes características:

Temperatura de entradas al sistema

Punto de medición	Temperatura promedio
Aire fresco	35.3°C
Entrada de aire frío (inyección)	31.1°C

Tabla 2: Datos medidos

## Canalización del Conocimiento Científico

## Optimización del uso de la energía aplicado a horno de Keroseno en una industria dedicada a la litografía sobre metal

Fecha enviada: 18 enero 2021

Fecha corregida: 25 marzo 2021

A la luz de los datos recibidos, la entrada de aire frío para inyección no puede utilizarse para recuperar calor pues se utiliza como medio de enfriamiento durante el proceso. El aire fresco, con temperatura promedio de 35.3°C, provee una oportunidad de optimización de energía, pues se podría precalentar este aire para que la energía de combustión no se utilice en el precalentamiento de 35.3°C hasta la temperatura de combustión. (Wong & Whittingham, 2006)

Para determinar si es factible recuperar calor de las chimeneas de combustión se debe realizar un balance de materia y energía basado en las mediciones de velocidad de los gases de combustión y su temperatura, así como el ingreso de combustible al horno. Las tablas obtenidas de estas mediciones son las siguientes:

### Mediciones de Aire Cargador 1, Salida de Aire cargador 2 y Aire Fresco

Salida de Aire cargador 1			Salida de Aire cargador 2			Aire Fresco		
Velometro (m/s)	Temp Int (°C)	Temp Ext (°C)	Velometro (m/s)	Temp Int (°C)	Temp Ext (°C)	Velometro (m/s)	Temp Int (°C)	Temp Ext (°C)
9	85	40	3	55	40	9	39	33
1	58	40	1	33	38	26	35	33
6.5	46	41.2.0	13	30	36	17	33	34
1	75	39.8	2	60	34	7	34	32
7.1	40	41	13	32	40	15	36	34
1	48	41.1	2	55	37	16	35	34
4.27	58.67	40.52	5.67	44.17	37.5	15.00	35.33	33.33

Tabla 3: Datos medidos

Salida de descarga final			Entrada aire frío			Salida de aire frío		
Velometro (m/s)	Temp Int (°C)	Temp Ext (°C)	Velometro (m/s)	Temp Int (°C)	Temp Ext (°C)	Velometro (m/s)	Temp Int (°C)	Temp Ext (°C)
6	50	45	16	30.4	40	13.5	38.2	30
4	51	43	17	29.4	38	16.5	22.1	31
10	52	45	15	31.3	39	13.5	32.5	31
7	48.3	44	16	32	38	14	37	30
3	49.3	45	15.5	33	40	14	36.5	30
12	50	43	16.3	30.2	39	15	37.5	29
7.00	50.1	44.17	15.97	31.05	39	14.42	33.97	30

Tabla 4: Datos medidos

Los resultados del análisis químico de las corrientes del quemador 1 y el quemador 2 se presentan en la siguiente tabla:

### Resultados de las mediciones Químicas de las corrientes de quemador 1 y 2 del horno

Quemador 1 (zona de circulación 1)					Quemador 2 (zona de circulación 2)				
Velometro (m/s)	Temp Int (°C)	Temp Ext (°C)	% O <sub>2</sub>	% CO <sub>2</sub>	Velometro (m/s)	Temp Int (°C)	Temp Ext (°C)	% O <sub>2</sub>	% CO <sub>2</sub>
14	258	68	10	8.5	13	345	94	9	9.2
6	204	50	10.5	8.2	4	324	87	8.5	9.2
5	277	61	10	8.5	3	315	109	9.5	9
11	263	69	10	8.5	15	330	93	9	9.4
12	255	55	10	8.5	11	327	90	8.5	9.2
6	260	64	9.5	8.2	8	333	97	9.5	9.2
9.00	252.83	61.17	10	8.4	9.00	329	95	9	9.2

Tabla 5: Datos medidos

Para facilitar el análisis y visualización de las distintas partes del horno de Keroseno el siguiente diagrama identifica las corrientes de entrada y salida y su relación con el proceso:

# Optimización del uso de la energía aplicado a horno de Keroseno en una industria dedicada a la litografía sobre metal

Fecha enviada: 18 enero 2021

Fecha corregida: 25 marzo 2021

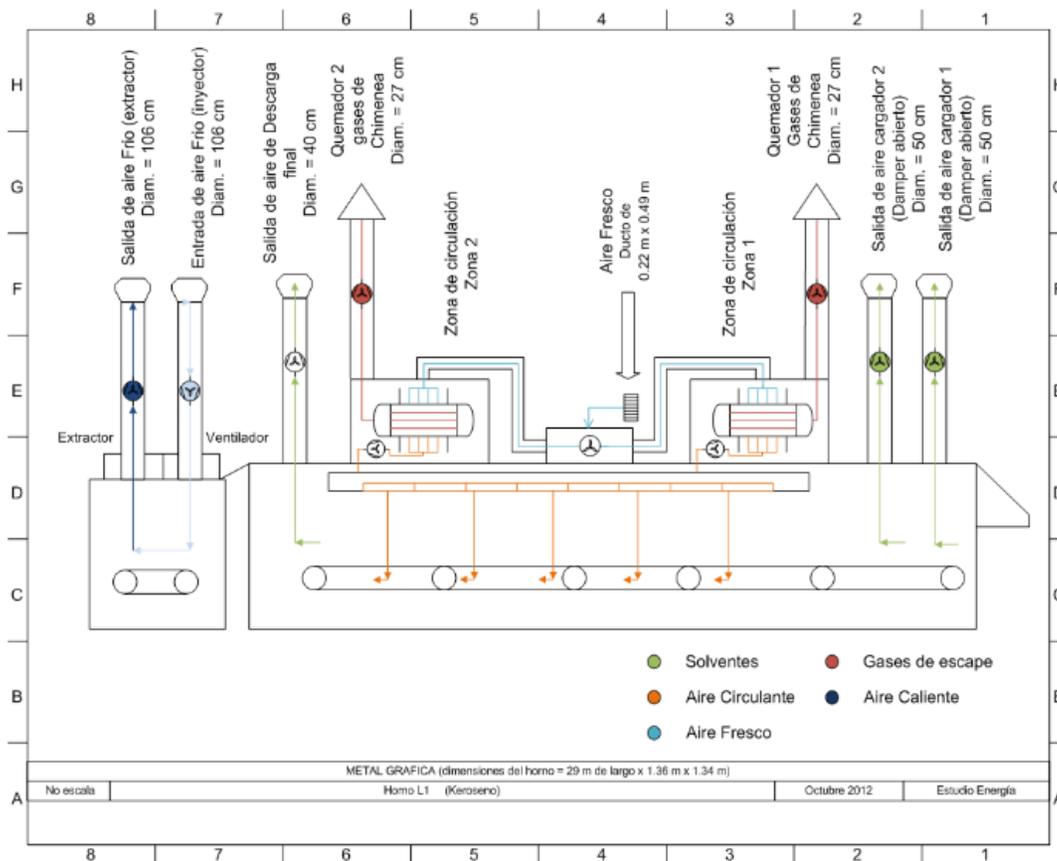


Diagrama 1 Fuente: Elaboración propia

## DATOS OBTENIDOS PARA REALIZAR EL ESTUDIO DE BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA EN EL HORNO

Para determinar si es factible recuperar el calor de un sistema térmico cualquiera, debe determinarse la cantidad y calidad de energía en cada una de las salidas “calientes” y así identificar la estrategia más adecuada para realizar la recuperación de calor. (Leppard, 2002)

Las tablas de los datos procesados de entrada de aire frío, salida de aire frío y aire fresco son los siguientes:

Datos procesados en entrada y salida de aire frío y aire fresco	Chimenea de salida de aire frío	Chimenea de entrada de aire frío	Aire Fresco	Unidades
Parámetro / Corriente				
<b>Diámetro</b>	3.477648	3.477648	0.22 m x 0.49 m	pie
<b>Área</b>	33.033	33.033	0.354	Pie <sup>2</sup>

<b>Velocidad</b>	47.309	52.394	49.212	Pie/s
<b>Flujo volumétrico</b>	1,562.76	1,730.74	17.404	Pie <sup>3</sup> /s
<b>Densidad</b>	0.069	0.069	0.069	Lb/pie <sup>3</sup>
<b>Flujo másico</b>	107.83	119.42	1.2	Lb/s
<b>Flujo másico</b>	6,469.83	7,165.27	72.06	Lb/min
<b>Temperatura</b>	22.5	31.05	35.33	°C
<b>Temperatura de referencia</b>	35	35	35	°C

Tabla 6: Datos medidos

## Canalización del Conocimiento Científico

## Optimización del uso de la energía aplicado a horno de Keroseno en una industria dedicada a la litografía sobre metal

Fecha enviada: 18 enero 2021

Fecha corregida: 25 marzo 2021

Los datos procesados de corrientes de chimeneas son los siguientes:

Datos de las corrientes de chimenea procesados

Parámetro	Chimenea de salida de aire descarga final	Gases de chimenea quemador 2	Gases de chimenea quemador 1	Chimenea de salida de aire cargador 2	Chimenea de salida aire cargador 1	Unidades
Diámetro	1.31232	0.885816	0.885816	1.6404	1.6404	pie
Área	1.775	0.546	0.546	3.467	3.467	Pie 2
Velocidad	13.123	29.527	29.527	38.648	14.009	Pie/s
Flujo volumétrico	40.76	16.12	16.119	64.49	48.567	Pie 3/s
Densidad	0.066	0.034	0.041	0.067	0.064	Lb/pie3
Flujo másico	2.69	0.54	0.66	4.32	3.11	Lb/s
Flujo másico	161.43	32.40	39.65	259.26	186.5	Lb/min
Temperatura	50.1	329	252.83	44.17	58.67	°C
Entalpía	138.8	261.3	228.59	136	143.2	Btu/lb
Temperatura referencia	35	35	35	35	35	°C
Entalpía	132.2	132.2	132.2	132.2	132.2	Btu/lb
Entalpía de la corriente	6.6	129.1	96.39	3.8	11	Btu/lb
Energía por minuto	1065.44	4182.79	3822.18	985.17	2051.5	Btu/min
Energía por hora	63,927.11	250,967.38	229330.63	59110	123090	Btu/hr
Energía anual	115	453	414	107	222	MBtu/año

Tabla 7: Datos procesados de corrientes de chimeneas

Con respecto al consumo de combustible anual y su aporte energético, se tiene los siguientes datos:

Balance de materia y energía en el combustible

Parámetro	Cantidad	Unidades
Combustible anual	48972	Gal/año
Poder calorífico	137,000.00	Btu/galón
Energía entrando por hora	3715959	Btu/hr
Energía entrando anual	6709	MBtu/año

Tabla 8: Datos calculados (Totten & Mackenzi, 2000)

Se establece que la temperatura de referencia sea de 35°C, obtenida de la temperatura de aire fresco al horno. La chimenea de salida de aire frío, la chimenea de entrada de aire frío y la temperatura de descarga de salida de aire final tienen temperaturas cercanas a la temperatura de referencia, por lo que no pueden utilizarse para recuperar calor.

Los gases de chimenea quemador 2 muestra un nivel elevado de energía con una temperatura de 329°C, aunque el flujo volumétrico es bajo, hay suficiente energía disponible que puede recuperarse mediante un intercambiador de calor que precaliente el aire fresco. La corriente de aire fresco se utilizará para disminuir así el consumo de combustible en el horno aumentando su eficiencia.

Los gases de chimenea del quemador 1 muestra un nivel de energía elevado con temperatura de 252.83°C y un flujo volumétrico mayor que el de la chimenea del quemador 2. Esta corriente también es apropiada para recuperar calor.

La chimenea de salida aire cargador 1 y cargador 2 son corrientes independientes del horno, por lo que no pueden considerarse como corrientes aptas para recuperar calor.

### BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA EN EL SISTEMA DE COMBUSTIÓN

Luego de realizar los balances de energía con los datos químicos y las corrientes de entrada y salida del horno, se determina lo siguiente:

Energía entrando al sistema

Parámetro	Valor	Unidad
Energía provista por el combustible	6,709	MBtu/año
Total energía entrando al sistema	6,709	MBtu/año

Tabla 9: Datos calculados (Totten & Mackenzi, 2000)

Energía saliendo del sistema

Parámetro	Valor	Unidad
-----------	-------	--------

# Optimización del uso de la energía aplicado a horno de Keroseno en una industria dedicada a la litografía sobre metal

Fecha enviada: 18 enero 2021

Fecha corregida: 25 marzo 2021

Chimenea 1	414	MBtu/año
Chimenea 2	453	MBtu/año
Chimeneas adicionales	444	MBtu/año
<b>Total energía saliendo del sistema</b>	<b>1,311</b>	<b>MBtu/año</b>

Tabla 10: Datos calculados (Totten & Mackenzi, 2000)

**Balance de energía en el horno**

Parámetro	Valor	Unidad
Energía entrando al sistema	6,709	MBtu/año
Energía saliendo del sistema	1,311	MBtu/año
Energía aprovechada (in-out)	5,398	MBtu/año
Eficiencia térmica	80.45	%

Tabla 11: Datos calculados (Totten & Mackenzi, 2000)

De acuerdo con la tabla anterior se determina que el horno en su proceso de combustión tiene una eficiencia del 20%. La eficiencia de este tipo de sistemas debe rondar los 60% a 90%. También puede verificarse que la eficiencia térmica del horno es de 80.45%.

## RECUPERACION DE CALOR EN EL SISTEMA DE COMBUSTIÓN DEL HORNO DE KEROSENO

El horno recibe el aire fresco directamente en el quemador, luego, la energía no transferida al proceso se elimina al ambiente por medio de los gases de chimenea según se puede observar en el siguiente diagrama:

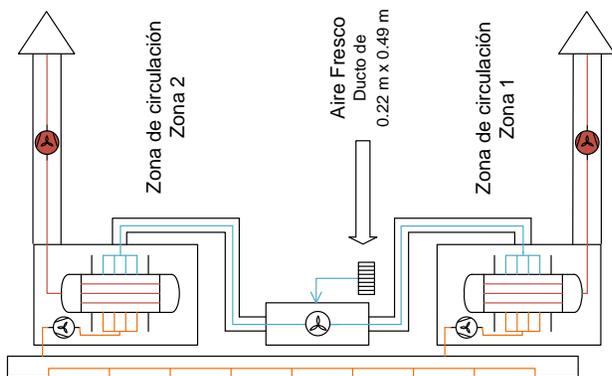


Diagrama 2 Fuente: Elaboración propia

Para mejorar la eficiencia de combustión, se propone la instalación de un intercambiador de calor que

recupere la energía de los gases que se expelen por las chimeneas y se trasladen al aire fresco que ingresa al horno según se puede observar en el siguiente diagrama (Thuman & Dunning, 2008):

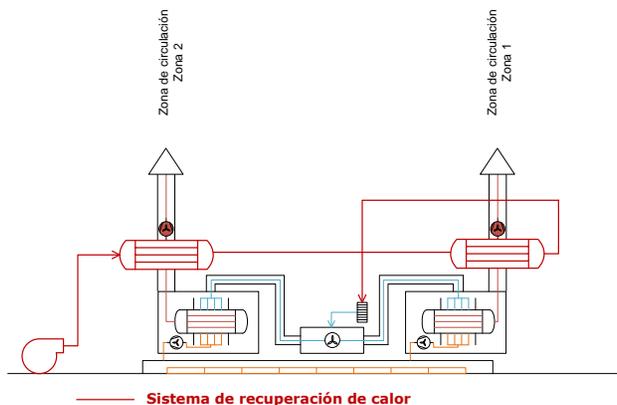


Diagrama 3 Fuente: Elaboración propia

El cálculo de disponibilidad de transferencia de energía depende de varios factores, siendo uno de los más importantes el punto de rocío en los gases de chimenea. Si se recupera energía en exceso y se alcanza la temperatura de punto de rocío en la superficie del intercambiador, la presencia de azufre en el combustible y la disponibilidad de agua generará ácido sulfhídrico o ácido sulfuroso (dependiendo de la valencia de la unión) y en pocos meses se oxidarían los intercambiadores de recuperación de calor y los intercambiadores del sistema de combustión.

La determinación del punto de rocío se lleva a cabo utilizando la siguiente gráfica (Goswani & Kreith, 2008):

# Optimización del uso de la energía aplicado a horno de Keroseno en una industria dedicada a la litografía sobre metal

Fecha enviada: 18 enero 2021

Fecha corregida: 25 marzo 2021

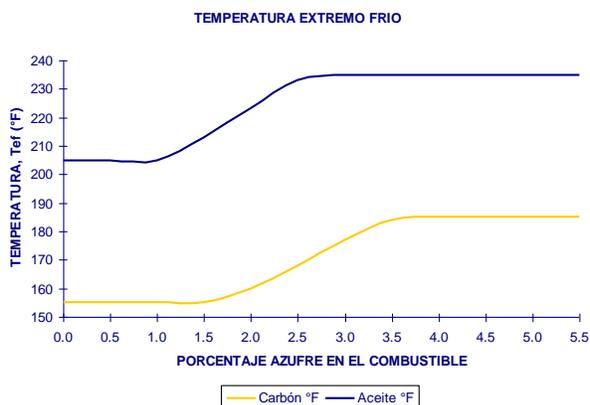


Gráfico 1 (Goswani & Kreith, 2008)

Al utilizar la gráfica anterior se utiliza una temperatura mínima de gases de 250°F. La relación con la temperatura del gas de salida viene dada por la siguiente ecuación:

$$T_{g(\text{mínima})} = 2 \cdot T_{ef} - T_a$$

Ecuación 1

Donde  $T_{ef}$  es la temperatura del extremo frío,  $T_a$  es la temperatura ambiente. Realizando el cálculo con los datos disponibles tenemos que:

$$T_{rocío} = 2 \cdot 205^\circ F - 80^\circ F = 305^\circ F = 165^\circ C$$

Ecuación 2

## RESULTADOS

Ahora que se determinó la temperatura de rocío, se calcula entonces el contenido energético disponible en la chimenea 1 mediante las entalpías de la corriente a 252.8°C y saliendo a 165°C como se puede observar en la siguiente tabla:

Balance de materia y energía en la chimenea 1

Parámetro	Resultado	Unidad
Diámetro	0.885816	pie
Área	0.546	Pie <sup>2</sup>
Velocidad	16.404	Pie/s
Flujo volumétrico	8.9551	Pie <sup>3</sup> /s

<sup>2</sup> De tablas termodinámicas

<sup>3</sup> De tablas termodinámicas

<sup>4</sup> De tablas termodinámicas

Densidad	0.041	Lb/pie <sup>3</sup>
Flujo másico	0.66	Lb/s
Flujo másico	39.65	Lb/min
Temperatura	252.83	°C
Entalpía	228.59	Btu/lb <sup>2</sup>
Temperatura referencia	165.00	°C
Entalpía	188.00	Btu/lb <sup>3</sup>
Entalpía de la corriente	40.59	Btu/lb <sup>4</sup>
Energía por minuto	1,609.53	Btu/min
Energía por hora	96,571.53	Btu/hr
Energía anual	174	MBtu/año
Temperatura del aire a la salida de esta chimenea	50	°C

Tabla 12

En la chimenea 2 se realiza el cálculo de la misma forma solo que tomando la temperatura inicial en 329°C y saliendo en 165°C como se puede observar en la siguiente tabla:

Balance de materia y energía en la chimenea 2

Parámetro	Resultado	Unidad
Diámetro	0.885816	pie
Área	0.546	Pie <sup>2</sup>
Velocidad	6.562	Pie/s
Flujo volumétrico	29.527	Pie <sup>3</sup> /s
Densidad	0.034	Lb/pie <sup>3</sup>
Flujo másico	0.55	Lb/s
Flujo másico	32.88	Lb/min
Temperatura	329.00	°C
Entalpía	261.30	Btu/lb <sup>5</sup>
Temperatura referencia	165.00	°C
Entalpía	188.00	Btu/lb <sup>6</sup>
Entalpía de la corriente	73.30	Btu/lb <sup>7</sup>
Energía por minuto	2,410.34	Btu/min
Energía por hora	144,620.25	Btu/hr
Energía anual	261	MBtu/año
Temperatura del aire a la salida de esta chimenea	64	°C

Tabla 13: Datos calculados (Totten & Mackenzi, 2000)

De lo anterior se pueden obtener los datos para cuantificar la cantidad de keroseno que se puede ahorrar y, por lo tanto, la cantidad de dinero que se ahorra al implementar el intercambiador de calor:

Ahorro de combustible previsto

Parámetro	Resultado	Unidad
Recuperación de calor chimenea 1	174	MBtu/año
Recuperación de calor chimenea 2	261	MBtu/año
calor recuperado	435	MBtu/año
Poder calorífico keroseno	0.137	MBtu/galón
Keroseno ahorrado anual	3,175	Gal/año

<sup>5</sup> De tablas termodinámicas

<sup>6</sup> De tablas termodinámicas

<sup>7</sup> De tablas termodinámicas

# Optimización del uso de la energía aplicado a horno de Keroseno en una industria dedicada a la litografía sobre metal

Fecha enviada: 18 enero 2021

Fecha corregida: 25 marzo 2021

Precio keroseno	27.10	Q/galón
Ahorro monetario anual	86,047	Q/año

Tabla 14: Datos calculados (Totten & Mackenzi, 2000)

## INVERSION EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR

La inversión requerida por un intercambiador de calor para este proyecto es de Q. 78,500.00. El tiempo simple de retorno de esta inversión se obtiene con la siguiente fórmula:

$$T_{\text{retorno en años}} = \frac{\text{Inversión anual}}{\text{Ahorro anual}}$$

El tiempo de retorno de inversión es de 0.91 años lo que equivale a 10.9 meses.

## OPTIMIZACIÓN DE LA RELACIÓN AIRE-KEROSENO EN EL SISTEMA DE COMBUSTIÓN

El keroseno utilizado en el horno utiliza un método de combustión de contacto indirecto. El disminuir el exceso de aire mejora la eficiencia de combustión al evitar pérdidas de calor en el calentamiento de Nitrógeno presente en el aire fresco ingresando a la cámara de combustión. Se puede realizar de dos maneras:

1. Modificar la relación combustible / comburente a través del combustible
2. Modificar la relación combustible / comburente a través del comburente

El exceso mínimo de aire permisible para el keroseno es de 25%. (Goswani & Kreith, 2008).

La composición del aire por volumen es: 21% de O<sub>2</sub> y 79% de N<sub>2</sub>. El oxígeno forma parte del proceso de combustión, es necesario para la formación del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante el proceso de combustión a partir de su combinación con el carbono proveniente del combustible.

El nitrógeno contenido en el aire no forma parte del proceso de combustión. En lugar de aportar energía al proceso, el nitrógeno absorbe energía de la combustión del oxígeno y el combustible aumentando así su temperatura hasta la correspondiente a los gases de chimenea.

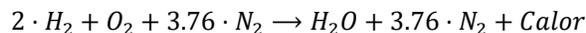
Los combustóleos derivados del petróleo contienen básicamente los siguientes compuestos: carbono, hidrógeno, azufre, cloro, vanadio, agua, algunos hidrocarburos volátiles y lodos; para llevarse a cabo el proceso de combustión se requiere oxígeno y energía de activación. El oxígeno se obtiene del aire. El aire contiene 79% en volumen de nitrógeno el cual no interviene en el proceso de combustión enfriando la temperatura de la llama y permitiendo pérdida de energía a través de los gases de chimenea. El nitrógeno actúa como un elemento refrigerante. En el proceso de combustión interviene básicamente las siguientes reacciones:

Combustión del carbono (84%)



Ecuación 3

Combustión del hidrógeno (11%)



Ecuación 4

Combustión del azufre:



Ecuación 5

Se observa en cada reacción de combustión que la cantidad de nitrógeno permanece constante, por lo que el nitrógeno únicamente absorbe calor para aumentar su temperatura desde la temperatura de entrada de aire hacia la cámara de combustión hasta la temperatura de los gases de chimenea.

Al operar con un exceso de aire superior al mínimo de exceso de aire permisible, incrementa la transferencia de calor por radiación hacia la chimenea y por convección hacia los tubos de los intercambiadores; pero es mucho más la cantidad de calor que se pierde por radiación, que la transferida por convección hacia los tubos, obteniéndose un efecto neto de mayor pérdida de energía por radiación hacia los gases de chimenea que el incremento de energía transferida por convección hacia los tubos. (Thuman & Dunning, 2008)

## Optimización del uso de la energía aplicado a horno de Keroseno en una industria dedicada a la litografía sobre metal

Fecha enviada: 18 enero 2021

Fecha corregida: 25 marzo 2021

A través del flujo de gases de chimenea 1 y chimenea 2 se puede determinar un balance de la cantidad de galones de keroseno por chimenea según se puede observar en la siguiente tabla:

Flujo de gases de combustión y consumo de galones de combustible por año

Chimenea	Flujo gases	Consumo [gal/año]
Chimenea 1	74.30%	36,386.20
Chimenea 2	25.70%	12,585.80

Tabla 15: Datos calculados (Totten & Mackenzi, 2000)

Las variables intensivas correspondientes a la chimenea 1 son las siguientes:

Quemador 1 (zona de circulación 1)

Medición / Parámetro	Velometro (m/s)	Temp Int (°C)	Temp Ext (°C)	% O2	% CO2
1	5.5	258	68	10.00	8.50
2	5.0	204	50	10.50	8.20
3	4.5	277	61	10.00	8.50
4	5.0	263	69	10.00	8.50
5	4.5	255	55	10.00	8.50
6	5.5	260	64	9.50	8.20
Promedio	5.00	252.83	61.17	10.00	8.40

Tabla 16: Datos originales

Al variar el exceso de aire de la chimenea 1 el efecto sobre la eficiencia de combustión es el siguiente:

Eficiencia de combustión en el quemador 1 al modificar el exceso de aire

Condiciones	Temperatura neta gases de chimenea [°F]	Exceso de aire [%]	Eficiencia de combustión [%]
Actual	407	85	79.75
Sugerida	407	25	84.00

Tabla 17: Datos calculados (Goswani & Kreith, 2008)

Esto genera un ahorro que puede observarse en la siguiente tabla:

Ahorro en energía al mejorar la eficiencia de combustión

Búnker [galones/año]	Poder calorífico [MBtu/galón]	Eficiencia combustión actual [%]	Eficiencia combustión mejorada [%]	Ahorro en energía [MBtu/año]
36,386.20	0.137	79.75	84.00	252.21

Tabla 18: Datos calculados (Goswani & Kreith, 2008)

El ahorro anual en quetzales por esta modificación es Q. 49,889.70.

Para la chimenea 2 el análisis es similar, teniendo las siguientes variables intensivas:

Quemador 2 (zona de circulación 2)

Medición / Parámetro	Velometro (m/s)	Temp Int (°C)	Temp Ext (°C)	% O2	% CO2
1	2.00	345.00	94.00	9.00	9.20
2	2.00	324.00	87.00	8.50	9.20
3	2.00	315.00	109.00	9.50	9.00
4	2.00	330.00	93.00	9.00	9.40
5	2.00	327.00	90.00	8.50	9.20
6	2.00	333.00	97.00	9.50	9.20
Promedio	2.00	329.00	95.00	9.00	9.20

Tabla 19: Datos tomados

La eficiencia de combustión cambiaría de la siguiente forma:

Eficiencia de combustión en el quemador 2 al modificar el exceso de aire

Condiciones	Temperatura neta gases de chimenea [°F]	Exceso de aire [%]	Eficiencia de combustión [%]
Actual	544.20	70.20	76.10
Sugerida	544.20	25	80.40

Tabla 20: Datos calculados (Goswani & Kreith, 2008)

El ahorro en combustible es el siguiente:

Ahorro en combustible en el quemador 2

Búnker [galones/año]	Poder calorífico [MBtu/galón]	Eficiencia combustión actual [%]	Eficiencia combustión mejorada [%]	Ahorro en energía [MBtu/año]
12,585.80	0.137	76.10	80.40	92.22

Tabla 21: Datos calculados (Goswani & Kreith, 2008)

El ahorro anual en quetzales por esta modificación es Q. 18,242.00.

El ahorro total al modificar el flujo de aire fresco hacia el horno es el siguiente:

## Canalización del Conocimiento Científico

# Optimización del uso de la energía aplicado a horno de Keroseno en una industria dedicada a la litografía sobre metal

Fecha enviada: 18 enero 2021

Fecha corregida: 25 marzo 2021

Ahorro total esperado en chimenea 1 y 2

Chimenea	Galones/año	Q/año
Chimenea 1	1,840.95	49,889.70
Chimenea 2	673.14	18,242.00

Tabla 22: Datos calculados de datos originales

Para que este análisis pueda llevarse a cabo de forma continua y se mantenga optimizado el proceso de combustión del horno, es necesario que la industria en cuestión realice la compra de un equipo analizador de gases con un costo promedio de Q. 4624.00. Aplicando la ecuación de recuperación simple de inversión, el tiempo de recuperación es de 0.06 años o 0.8 meses.

## CONCLUSIONES

1. El Proyecto de recuperación de calor del horno 1 de keroseno, representa un ahorro equivalente a 3,175 galones de keroseno que equivale a 86,047 quetzales ahorrados anualmente a un precio del keroseno de Q 27.10/galón y equivale a 6.48 % en combustible. (48,972)
2. El proyecto de optimización de la eficiencia de combustión del horno 1 de keroseno, representa un ahorro equivalente a 2,514 galones de keroseno que equivale a 68,131.70 quetzales ahorrados anualmente a un precio del keroseno de Q 27.10/galón y equivale a un 5.13% en combustible.
3. Los dos proyectos anteriores representan 5,689 galones de keroseno ahorrados que equivale a 154,172 quetzales ahorrados anualmente y equivale al 11.61% de combustible ahorrado.
4. La mejora en la eficiencia del horno tiene un impacto de 2,514.1 galones de combustible por año. El impacto económico es de Q. 68,131.70. Como consecuencia, la recuperación de inversión es de 0.8 meses.
5. Al realizar el estudio de optimización se logra determinar que la industria puede ahorrar un

11.61% del combustible utilizado actualmente en el horno de Keroseno al utilizar un recuperador de calor y optimizar la eficiencia de combustión. La recuperación de la inversión simple se puede lograr en menos de un año

## BIBLIOGRAFÍA

- Wong, R., & Whittingham, E. (2006). *A Comparison of Combustion Technologies for Electricity Generation* (2a. ed.). Canada: The Pembina Institute.
- Catalogo del Empaque. (Diciembre de 2018). *Catalogo del empaque*. Obtenido de Catalogo del empaque: <https://www.catalogodeempaque.com/temas/Industria-latinoamericana-de-envases,-como-se-comportara-el-2019+128769?pagina=4>
- Goswami, Y., & Kreith, F. (2008). *Energy Conservation*. United States of America: CRC Press.
- Horlock, J. (2002). *Combined Power Plants*. Florida: John Wiley & Sons, Inc.
- Horlock, J. (2010). *Combined Power Plants*. EEUU, Florida: Editorial Krieger Publishing Company.
- Leppard, S. (2002). Options and Options Valuation Techniques. *Ronn E. (ed) "Real Options and Energy Management"*, *Risk Books*, 61-113.
- Oilnergy. (2008). *Natural Gas Price*. Recuperado el 14 de octubre de 2008, de <http://www.oilnergy.com/1gnymex.htm#year>
- Potter, M., & Scott, E. (2004). *Thermal Sciences*. United States of America: Thomson.
- Raja, A., Srivastava, R., & Dwivedi, M. (2006). *Power Plant Engineering*. New Dehli: New Age International.
- Rajput, E. (2013). *Power Plant Engineering* (Fourth Edition ed.). New Delhi: Laxmi Publications.
- Rayaprolu, K. (2009). *Boilers for Power and Process*. Boca Raton, Florida: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Rost, J., & Seed, A. (23 de Marzo de 2018). *Una industria de envasado metálico sostenible*. Obtenido de [www.interempresas.net](http://www.interempresas.net): <https://www.interempresas.net/Envase/Articulos/220014-Una-industria-de-ensado-metalico-sostenible.html>
- Smithers. (Diciembre de 2020). *Smithers*. Obtenido de COVID-19 boosts food and beverage sectors of metal packaging and coatings market, Smithers study finds:

## Optimización del uso de la energía aplicado a horno de Keroseno en una industria dedicada a la litografía sobre metal

Fecha enviada: 18 enero 2021

Fecha corregida: 25 marzo 2021

- <https://www.smithers.com/resources/2020/dec/COVID-19-boosts-food-beverage-metal-packaging>  
Smithers Pira. (Febrero de 2018). *The future of packaging trends*. Obtenido de <https://www.smitherspira.com/resources/2018/february/the-future-of-packaging-trends>
- Tecnobebidas. (21 de Diciembre de 2019). *Cinco tendencias que están incrementando la demanda de envases metálicos*. Obtenido de Tecnobebidas: <https://www.tecnobebidas.com/articulo/21956/>
- Thuman, A., & Dunning, S. (2008). *Guide to Energy Conservation* (Ninth Edition ed.). New York: Fairmont Press, Inc.
- Totten, G., & Mackenzi, S. (2000). *Handbook of Aluminium: Physical Metallurgy and Process* (Vol. volumen 1). New Dehli: Atlantic.
- Vanek, F., & Albright, L. (2008). *Energy Systems Engineering: Evaluation & Implementation*. New York: Mc Graw Hill.