



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE GAS NATURAL EN EQUIPOS DE UNA
PLANTA FUNDIDORA DE VIDRIO

TESINA

PARA OPTAR POR EL GRADO DE ESPECIALISTA EN
AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA

PRESENTA:

ING. ALEJANDRA SOTO RAMÍREZ

TUTOR: M.I AUGUSTO CIFUENTES SÁNCHEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX, 2016

Agradecimientos

Dar gracias a Dios es ahí donde empieza el arte de vivir.

Doménico Cieri Estrada

A mi Mamá y a mi Papá, por ser la mejor luz que puede guiar mi camino. Gracias a ustedes soy lo que soy.

A mis compañeritos de vida, (Kari, Carlitos, Adrián), siempre nos apoyaremos incondicionalmente.

A Miguelito, por ser la alegría de mi corazón, por tu apoyo y ayuda incondicional. Por formar parte de mi, por ser la hoja en mi vida.

A mi alma mater la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, estaré eternamente agradecida por formarme profesionalmente. Al Posgrado de la Facultad de Ingeniería y a los profesores que tuve durante mis estudios como especialista, a la MI Judith y al MI Augusto, por todo el apoyo brindado durante mi estancia en la especialidad por brindarme y compartirme su conocimiento.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVO	2
1.2	DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	2
2	METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DEL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	3
2.1	DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	3
2.2	CLASIFICACIÓN	4
2.3	METODOLOGÍA	5
3	CASO DE ESTUDIO	8
3.1	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	13
3.2	HORNO DE FUNDICIÓN	17
3.2.1	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE FUSIÓN	19
3.3	ESTUFA DE CURADO	23
3.4	VARIABLES MEDIDAS	25
3.4.1	FLUJO Y VOLUMEN	25
3.4.2	TEMPERATURA	30
3.4.3	PRESIÓN INTERNA	34
3.5	EQUIPOS DE MEDICIÓN REQUERIDOS	35
3.5.1	PIRÓMETRO	35
3.5.2	CÁMARA TERMOGRÁFICA	37
3.5.3	ANALIZADOR ELECTRÓNICO DE COMBUSTIÓN	39
3.5.4	TERMO ANEMÓMETRO	41

	4
3.6 FACTURACIÓN.....	43
3.7 CONSUMO POR EQUIPO	46
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	47
4.1 INDICADORES ENERGÉTICOS.....	47
4.2 EFICIENCIA DEL HORNO	51
4.3 EFICIENCIA DE LA ESTUFA DE CURADO	62
5 PROPUESTAS DE AHORRO.....	64
6 CONCLUSIONES.....	74
7 ANEXO 1.....	76
8 ANEXO 2.....	77
9 ANEXO 3.....	79
10 ANEXO 4.....	81
11 BIBLIOGRAFÍA	82

1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la Prospectiva del Gas Natural 2014 [1], en el 2013 la demanda fue del 41.8% con respecto a otros combustibles, representando un volumen de 6952.4 MMpcd. El sector eléctrico público fue el mayor consumidor en ese año, seguido del sector petrolero y en tercer lugar el sector industrial, éste último con un consumo del 17%.

A pesar de representar menos de una cuarta parte del consumo total de gas natural, el sector industrial representa grandes oportunidades de ahorro. Para ejemplificar lo anterior el presente trabajo muestra el potencial de ahorro a través de la realización de un diagnóstico energético de una Planta fundidora de vidrio.

Una de las principales materias primas en la planta fundidora, es el gas natural, por lo tanto es necesario determinar el potencial de ahorro a través de un diagnóstico energético. Se pretende aumentar la eficiencia del proceso, así como la disminución en el consumo impactando en la facturación de dicho combustible.

Es importante mencionar que el diagnóstico se enfoca solamente a los equipos consumidores de gas natural, con la intención de dirigir los esfuerzos al aprovechamiento máximo del consumo de gas natural.

[1] SENER. Prospectiva del Gas Natural y Gas LP 2014-2028. México: SENER; 2014. p.19.

Cabe mencionar que la industria del vidrio en México genera 13,500 empleos directos y posee una producción de 3 mil mdd de acuerdo a la Asociación de Distribuidores de Vidrio y Cristal.

1.1 OBJETIVO

Realizar el diagnóstico energético conociendo la situación actual del consumo de gas natural en los diferentes equipos en relación con los niveles de producción y la operación habitual. Determinando el grado de eficiencia actual. Así mismo, identificar acciones o medidas técnicas y/o administrativas rentables para el ahorro de este combustible.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

El no contar con el diagnóstico energético de los equipos consumidores de gas natural no permite conocer el estado actual del proceso. En otras palabras se desconoce la eficiencia, evadiendo oportunidades de ahorro y el aprovechamiento máximo energético del sistema.

2 METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DEL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

2.1 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

El diagnóstico energético permite determinar con exactitud el balance de energía de los principales equipos consumidores de energía [2], identificando los aspectos del proceso que mayor consumo representan, exponiendo las áreas de oportunidad que se tienen para el aprovechamiento y ahorro de energía.

Un diagnóstico energético implica diversas técnicas que permiten determinar la eficiencia del equipo, proceso, planta industrial e incluso edificios. Es de importante trascendencia conocer los aspectos operativos que implican, como el inventario del equipo consumidor de energía, la detección y evaluación de posibles fugas, frecuencia del mantenimiento en caso de existir, las horas de uso, etc. El segundo aspecto es el económico, en el cual se realiza el análisis de las facturas de energía con las que se cuentan, el impacto del desperdicio de energía e indicadores energéticos.

Por otra parte, es complicado conocer con exactitud las horas de uso u operación de los equipos, esto afecta directamente la correlación consumo/factura, razón por la cual se considera un margen de error del 5%.

[2] FIDE. Programa integral de “Asistencia técnica y capacitación para la formación de especialistas en ahorro y uso eficiente de energía eléctrica”. Mexico-Guatemala: FIDE; 2010. p.4.

Finalmente con el diagnóstico se pretende reducir los desperdicios o usos inapropiados de energía, así mismo lograr disminución de consumos y facturación. Así mismo se identificará las acciones ligadas al ahorro ya sean técnicas, administrativas o ambas.

2.2 CLASIFICACIÓN

Los diagnósticos energéticos varían dependiendo de su metodología [3], el tiempo, la profundidad, el tamaño, y se clasifican generalmente en tres niveles:

Diagnóstico de Primer Grado o DEN1

El diagnóstico de primer grado consiste en la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones, el análisis de los registros de operación en caso de tener, de igual forma la información estadística de consumos y pagos por concepto de energía eléctrica y combustible en caso de que sea un consumible.

Por otra parte el análisis de esta información tiene la finalidad de identificar las oportunidades de ahorro que pueden ser fácilmente alcanzables por procesos de mantenimiento y/o cambios en la operación, estos ahorros son estimados y pueden ser aplicados o descartados, cabe mencionar que en este grado de diagnóstico no requiere inversión alguna.

Diagnóstico de Segundo Grado o DEN2

[3] FIDE. Programa integral de “Asistencia técnica y capacitación para la formación de especialistas en ahorro y uso eficiente de energía eléctrica”. Mexico-Guatemala: FIDE; 2010. p.5-7.

En el diagnóstico de segundo grado se aplican un conjunto de técnicas que permiten realizar un análisis detallado del uso y consumo de los energéticos que permite establecer las bases para la toma de decisiones sobre la realización de acciones o proyectos enfocados al ahorro de energía.

Para llegar al objetivo se requiere de un análisis detallado de los registros históricos, de las condiciones de operación de los equipos y consumos específicos de energía.

Por otra parte se requiere contar con equipos e instrumentos de medición que conlleve a determinar los potenciales de ahorro de energía así como un programa de ahorro energético con cambios operativos, de mantenimiento y lista de medidas de baja y media inversión para el ahorro energético.

Diagnóstico de Tercer Grado o DEN3

En el diagnóstico de tercer grado consiste en un análisis exhaustivo que permite obtener información precisa y comprensible de los consumo, de las pérdidas y de los rechazos de energía en los elementos dentro de los procesos y/o actividades del caso de estudio.

Con el fin de satisfacer este tipo de diagnósticos se requiere de instrumentación, mediciones en los equipos, adquisición de datos y estudios de ingeniería, para lograr un plan de acción con recomendaciones tanto de media como de alta inversión para el ahorro de las fuentes de energía.

2.3 METODOLOGÍA

La metodología para la elaboración de una diagnóstico energético no son pasos definidos ha seguir, sin embargo existen etapas estratégicas que pueden ayudar a llegar a los resultados esperados.

Etapa de Planeación

En esta primera etapa consiste en realizar la elaboración de la estrategia a seguir.

De acuerdo al caso de estudio se recopila información energética que caracteriza al usuario, se obtienen costos de las tarifas y las facturas.

Por otra parte se define los equipos a los cuales se realizaran mediciones, si existen o cuentan con medidores los equipos consumidores y si estos están calibrados, así como los equipos adicionales de medición que se requieren.

Con esto se identificará el tiempo que se requiere para la realización del diagnóstico, el alcance que tendrá, los recursos necesarios ya sean técnicos y/o económicos y las principales variables energéticas que tiene el caso de estudio.

Etapa de Recopilación de la información instalada.

En esta segunda etapa se realizan las mediciones que se planearon en la primera, es por ello la importancia de realizar un análisis previo de los instrumentos que se requieren para dichas mediciones.

Etapa de análisis

Con la información obtenida en la primera y segunda etapa se procederá a analizar el comportamiento histórico del consumo de energía de la empresa y su relación con la producción de la misma, así se determinarán los índices energéticos actuales, de igual forma se calcularan las eficiencias de los equipos o procesos que vendrán determinados por el balance de materia y energía.

Etapa de conclusiones

Gracias a los resultados de la etapa anterior se identificaran los equipos o procesos de mayor consumo energético. Los equipos de mayor consumo serán marcados como prioritarios para la identificación y obtención de ahorros de

energía, la disminución del consumo de energía en estos equipos será representativa y reflejará ahorros sustanciosos. El objetivo del diagnóstico recae en esta última etapa en la que se obtendrá cuantitativamente los potenciales de ahorro que se pueden obtener con el trabajo previo realizado.

3 CASO DE ESTUDIO

Como se mencionó anteriormente, el caso de estudio se trata de una Planta que produce fibra de vidrio como aislante térmico. Para comprender de mejor forma el proceso y el uso de energía en el mismo es necesario entender los mecanismos de transferencia de calor el papel de la transferencia de calor.

No existen aislantes perfectos, sino malos conductores de calor capaces de frenar la intensidad de un flujo térmico. Están caracterizados por un coeficiente de conductividad (λ) lo más bajo posible y se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\Delta X}{K}$$

ΔX es el espesor del aislante.

K es la conductividad del aislante.

El objetivo del aislante térmico es la disminución en la transferencia de calor, el cual es el proceso de propagación de calor por diferentes medios y este persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir hasta que ya no exista un gradiente de temperaturas.

A continuación se presentan los diferentes tipos de transferencia que pueden existir de acuerdo a Cengel [4].

Conducción

[4] Cengel A.Y. Heat Transfer. 2º Ed. Estados Unidos: McGraw Hill; 2004. p. 62-112.

En la conducción existe un gradiente de temperatura, transfiriendo energía desde la región de alta temperatura hacia la región de baja temperatura, el flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura:

$$q = -KA \frac{\partial T}{\partial X}$$

Donde:

q es el flujo de calor.

$\partial T/\partial X$ es el gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor.

K es la conductividad térmica del material.

A es el área.

Cabe mencionar que el signo negativo tiene el objetivo de cumplir el segundo principio de la termodinámica, esto es, que el calor debe fluir hacia el de menor temperatura.

Esto se puede observar en la siguiente figura. En donde existe una transferencia de calor por conducción.

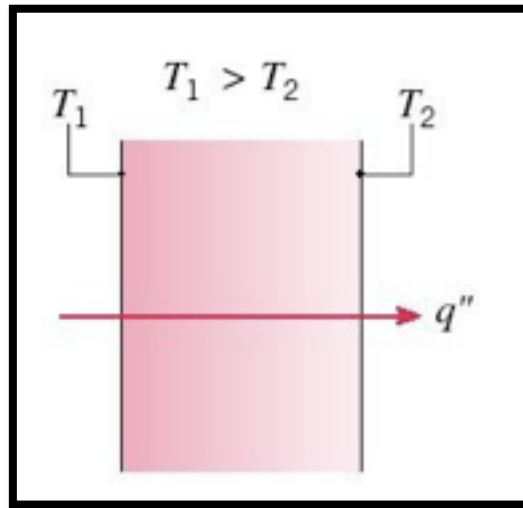


Imagen 1

Cengel A. Y. (2004) Heat Transfer

Convección

Por otra parte la transferencia de calor por convección se debe al movimiento del fluido, el fluido frío adyacente a superficies calientes recibe calor que luego transfiere al resto del fluido frío mezclándose con él, la convección natural ocurre cuando el movimiento del fluido no se complementa por agitación mecánica, pero cuando el fluido se agita mecánicamente, el calor se transfiere por convección forzada. Se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$q = h * A * \Delta T$$

Donde:

h es el coeficiente de convección.

A superficie de transferencia de calor.

ΔT es el gradiente de temperatura.

En la siguiente Figura se puede observar el fenómeno.

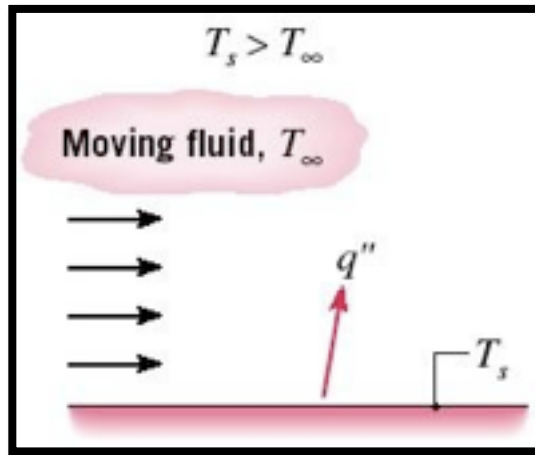


Imagen 2

Cengel A. Y. (2004) Heat Transfer

Radiación

La transferencia de calor por radiación se produce aun en bajas temperaturas siempre que dos cuerpos de temperatura diferente estén en presencia uno del otro, en sí es la transferencia de calor es por medio de ondas electromagnéticas, no se requiere de un medio para su propagación, la energía irradiada se mueve a la velocidad de la luz. En la siguiente ecuación se puede observar las variables implicadas.

$$q = A * \varepsilon * \sigma * \Delta T^4$$

Donde:

A es la superficie de transferencia de calor.

ε es la emisividad del material

σ es la constante de Boltzman la cual es $5.67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2\text{K}^4$

ΔT gradiente de temperatura.

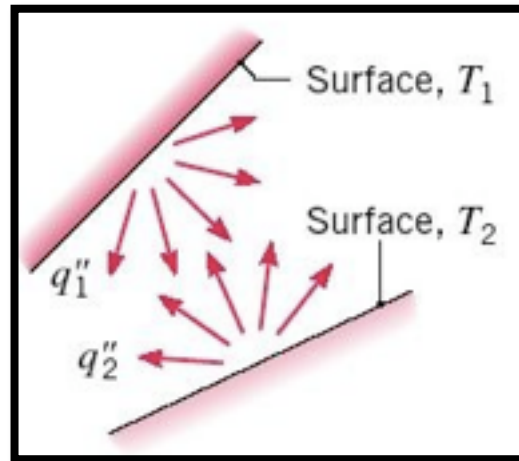


Imagen 3

Cengel A. Y. (2004) Heat Transfer

Por otra parte la importancia del uso de aislantes térmicos radica en que estos permiten la optimización de los procesos, al tener menores pérdidas de calor se generan ahorros económicos. Algunas otras características adicionales de los aislantes térmicos son:

Resistencia a la humedad.

Buenas propiedades como aislante eléctrico.

Buena estabilidad dimensional.

Incombustibilidad.

No es un material putrefacto.

Resistencia al ataque de agentes químicos.

Excelente adherencia a la matriz, utilizando recubrimientos apropiados para cada tipo.

Bajo alargamiento.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En proceso de producción del aislante térmico intervienen diferentes operaciones con un grado variado de uso energético. Es por esta razón que es necesario entender el proceso de producción con el fin de identificar los equipos que más energía requieren.

La producción de aislante térmico de acuerdo a Bingham y Wallenberger [5] empieza por la recepción, control y almacenaje de la materia prima, la cual es una composición vítrea específica que en la exacta dosificación provee las características requeridas al vidrio como aislante térmico.

La segunda etapa del proceso es el pesado y homogenización de la mezcla vítrea y la introducción de éste en una tolva para posteriormente fundirlo en un horno de oxi-combustión el cual tiene una capacidad de 80 toneladas, por otra parte el vidrio fundido debe de tener la fluidez necesaria para el correcto fibrado, explicado a continuación.

El fibrado consiste en el fundido del vidrio el cual fluye a lo largo de un canal de distribución y pasa a través de hileras de platino calentadas por efecto Joule [6], dando origen a fibras de vidrio.

[5] Bingham P. y Wallenberger F. *Fiberglass and Glass Technology*. Reino Unido: Springer; 2010. p.3-15, 355-380.

[6] El efecto Joule, es un fenómeno irreversible por el cual un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor, debido a los choques que sufren los átomos del material conductor por el que circulan se eleva la temperatura. Cengel.

La fibra de vidrio es recogida por un órgano repartidor de acuerdo a la EPA [7] que alimenta una banda metálica perforada, a través de la cual se efectúa la división del vidrio bajo el efecto de la fuerza centrífuga.

Después de este primer estirado mecánico horizontal, las fibras son estiradas verticalmente bajo la acción térmica y mecánica de un quemador con llama rápida. Diferentes factores permiten actuar sobre el diámetro de las fibras obtenidas, los cuales son:

Número de diámetro de los orificios de la banda perforadora.

Flujo de vidrio.

Viscosidad del vidrio.

Posteriormente se esprea la resina fenólica sobre las fibras las cuales le proporcionan las propiedades de aglutinamiento al material. La fibra revestida pasa por aspiración a un transportador móvil que la lleva a un estufa de curado para que finalmente se empaque, en la imagen 4 se puede observar el proceso.

[7] EPA. Glass Fiber Manufacturing [Internet]. 1986. Citado el 23 Agosto 2016.

Disponible en:

<https://www3.epa.gov/climatechange/wyacd/waste/downloads/fiberglass-insulation10-28-10.pdf>.

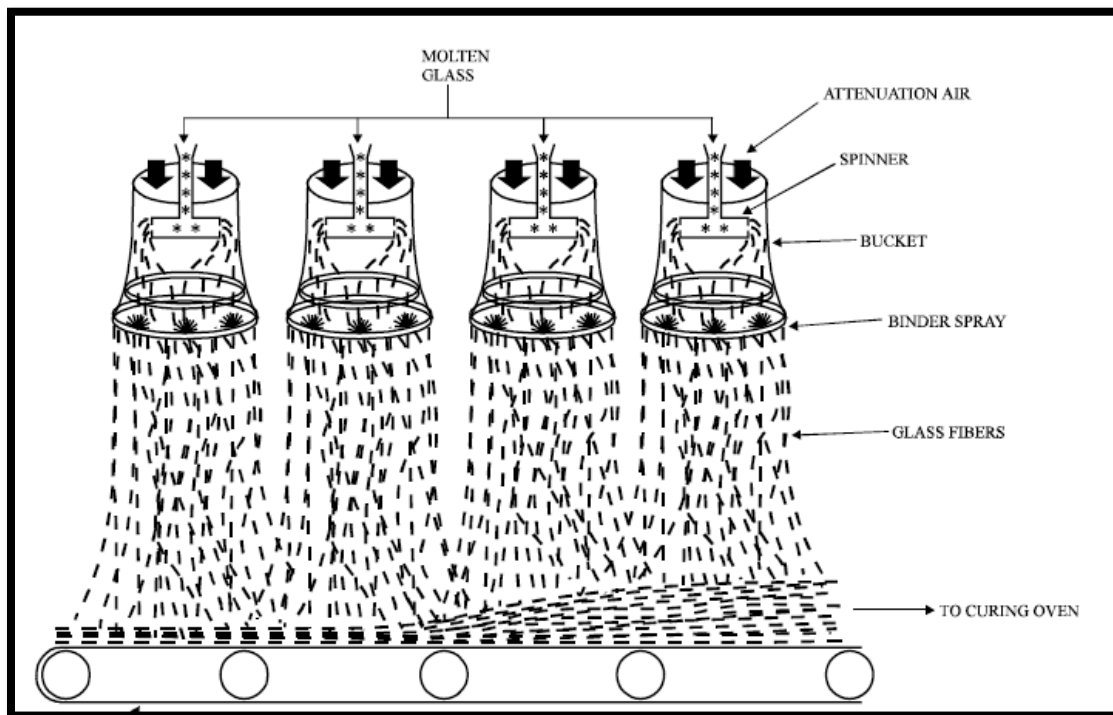


Imagen 4

EPA (1986) Glass Fiber Manufacturing.

En la siguiente imagen se puede observar todo el proceso de la fabricación de aislante térmico.

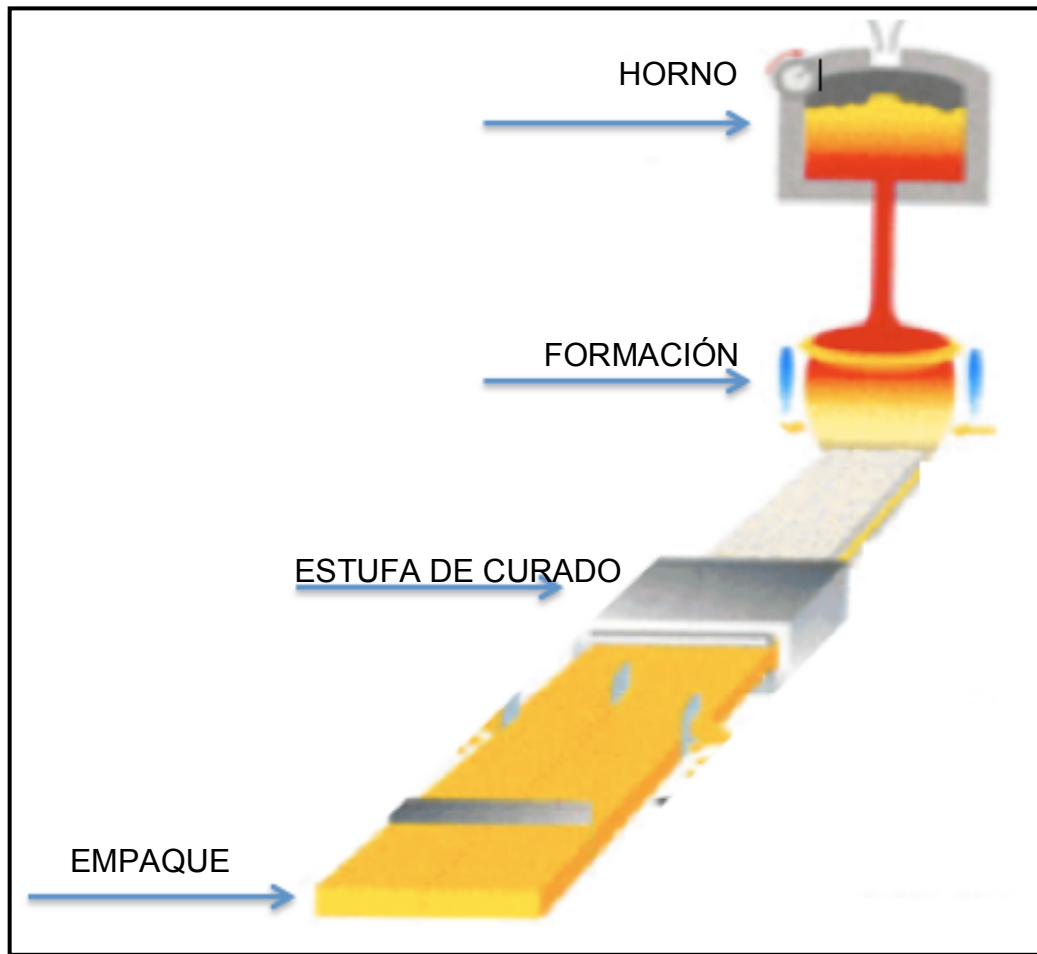


Imagen 5

Yokogawa Corporation ,(2008) Manufacturing Glass.

Existen productos que pasan por la estufa de curado y otros que se empacan antes de pasar a esta, correspondiendo el 70% como producto curado y 30% sin curar.

Es importante mencionar que la planta considerada para el presente estudio opera los 365 días, presentando fluctuaciones, que depende de la demanda.

En lo que respecta al mantenimiento, éste consiste básicamente en limpieza, se realiza cada 15 días. En el arranque se invierten dos horas de calentamiento en la estufa para la producción de aislante curado.

Como se mencionó anteriormente, en el presente caso de estudio se realizó un diagnóstico energético de los equipos consumidores de Gas Natural, los cuales son el horno de fundición y la estufa de curado. En las siguientes secciones, se describe respectivamente la operación de éstos equipos.

3.2 HORNO DE FUNDICIÓN

El horno de fundición es un equipo constituido por un cerramiento metálico revestido interiormente por una pared refractaria aislante, dentro del cual se funde el vidrio debido al calor liberado por un combustible, en este caso gas natural, en la siguiente imagen se puede observar un esquema de un horno de fundición de vidrio.

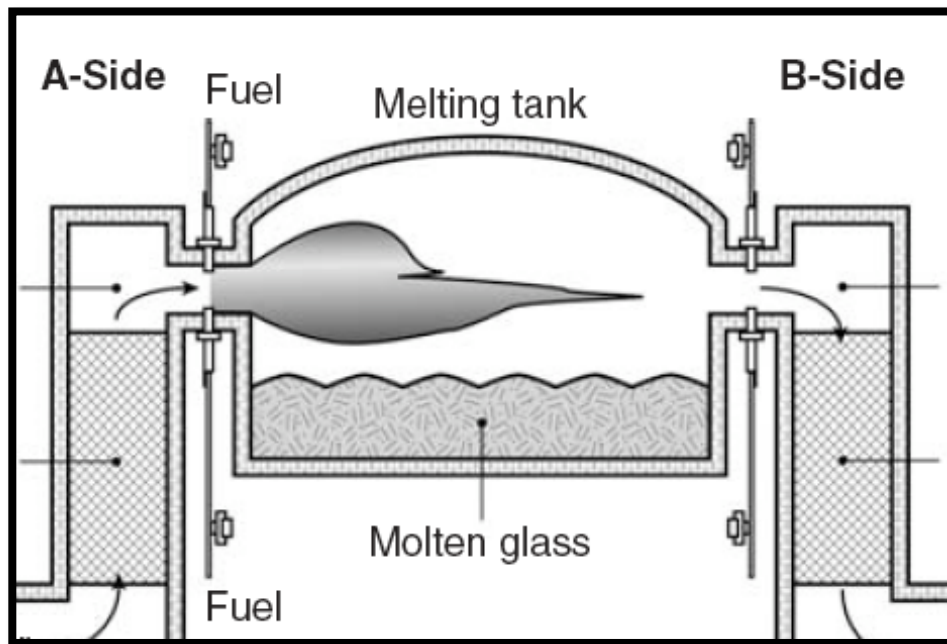


Imagen 6

Mathieu H. (2009) Basics of Industrial Glass Melting Furnaces

Las partes o zonas principales de un horno de acuerdo a Kirishi [8] son las siguientes:

Cimientos: Son la parte del horno que se apoya directamente en el suelo y que sostiene todas las demás partes del horno, se requiere absoluta solidez como para aguantar toda la carga estática, sin sufrir deterioro alguno. Los cimientos deben tener dimensiones suficientes, como para que la presión contra el suelo no pase los valores permisibles.

Plataforma: Es el plano inmediatamente superior a los cimientos del horno y el inferior de la mampostería, para su construcción se emplean distintos materiales como refractarios y aislantes. Su principal objetivo es proveer una superficie sobre la cual pueden ser dispuestas todas las partes inferiores del horno.

Solera: Es la parte del horno la cual se dispone el metal fundido o los materiales a calentarse, como soporta la carga del material debe de ser suficientemente sólida impermeable para el material vítreo.

Paredes: Estás rodean la zona de trabajo del horno, generalmente mantienen la bóveda, deben de proteger la zona de las pérdidas de calor, no permitir el escape de los gases, ni la succión del aire de la atmósfera

[8] Kiriishi K. y Fujimine T. High Efficiency Furnace with Oxy-Combustion and Zero-Emission by CO₂ Recovery [Internet]. 2008. Citado el 02 Agosto 2016. Disponible en:
<http://members.igu.org/html/wgc2009/papers/docs/wgcFinal00580.pdf>

hacia el interior del horno. La cara más importante de las paredes es la interior. Debe ser pareja, limpia, tener juntas delgadas.

Bóveda: Soporta temperaturas muy altas, ya que los gases que se encuentran en el ambiente están a una presión superior a la normal.

Canales: Sirven para conducir los gases hasta la chimenea, suelen ser de sección rectangular y de techo plano o abovedado.

Juntas térmicas: Deben compensar la dilatación volumétrica de la mampostería por el calor, asegurando la integridad de la mampostería, las juntas a su vez no deben rebajar la solidez de la misma y ser causa de escapes de gases, producto o escorias.

Esqueleto Metálico: es la estructura que sujeta todas las partes del horno y absorbe los esfuerzos que se originan en la mampostería tanto durante su ejercicio, como posteriormente los procesos de su trabajo.

3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE FUSIÓN

Al ser introducido en el horno la materia prima flota por tener menor densidad sobre el vidrio ya fundido, la distribución de estas materias primas que flotan se le denomina cargas.

Al ir avanzando y llegar a la altura del primer quemador, la parte superior de las cargas que flotan sobre el vidrio recibirán un aporte de calor por radiación y convección de las llamas provenientes de la combustión, así como la radiación de los materiales refractarios.

El resultado de dichos efectos sobre la parte superior e inferior de las cargas es la transformación de estado del vidrio y se le conoce como zona de masas, la cual contiene aun algunos vestigios de la composición vítrea, la última capa se le denomina línea de masa la cual en la cual el material se encuentra totalmente fundido.

La primer zona se le conoce como refinador de acuerdo a Mathhieu [9], en el cual se lleva el proceso de homogenización de la masa vítrea fundida y la segregación de las burbujas ocluidas, esta se realiza en la parte final del horno. En la siguiente imagen se puede observar la descripción anterior.

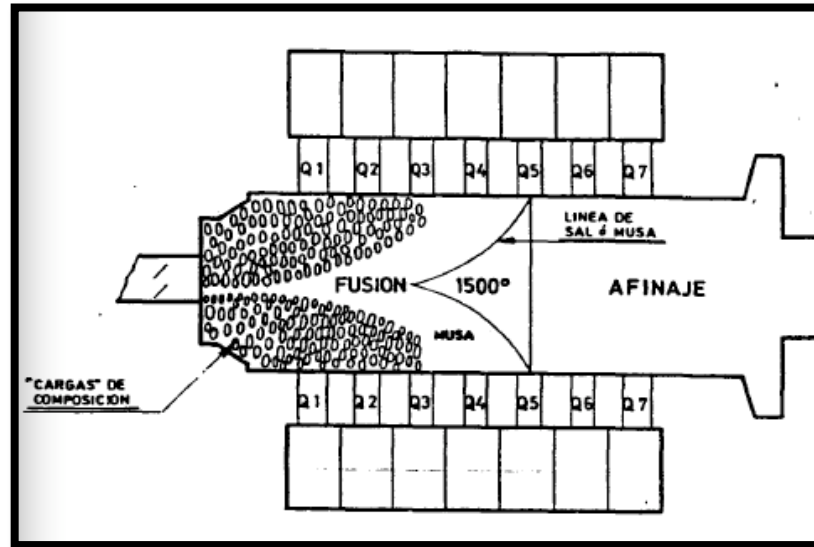


Imagen 7

Mathieu H. (2009) Basics of Industrial Glass Melting Furnaces

La temperatura de operación de este tipo de hornos tiene un promedio de 1400°C a 1600°C, la cual es alcanzada con ayuda de quemadores en donde la

[9] Mathieu H. Basics of Industrial Glass Melting Furnaces [Internet]. 2009. Citado el 18 Septiembre 2016. Disponible en: http://www.lehigh.edu/imi/teched/GlassProcess/Lectures/Lecture03_Hubert_industerglassmeltfurnaces.pdf

combustión se realiza por medio de oxígeno con una pureza del 90% y con gas natural.

Entre las ventajas de utilizar oxígeno a mayor concentración en lugar de aire en la combustión se encuentran los ahorros de combustible de hasta el 15% [10], las reducciones en las emisiones de CO₂ de hasta el 25% y los incrementos en la eficiencia energética de hasta el 20%, como resultado de reducciones en la temperatura de ignición, aceleramiento de la combustión, mejor transferencia de calor y menores pérdidas de energía en los gases de combustión.

Por otra parte, los quemadores desempeñan un gran papel en la eficiencia del proceso de acuerdo a Bordman y Ragland [11] ya que el quemador transforma la energía química del combustible en energía calorífica, el principal objetivo de los quemadores es lograr la máxima eficiencia en función de la mezcla de combustible con comburente para realizar la combustión. El propósito del equipo es:

Mezcla de gas natural y oxígeno.

Suministro de estos en flujo y presión adecuada.

Iniciar y mantener la ignición.

Posicionar la flama, en áreas útiles para la transferencia de calor.

El tipo de mezclador se clasifica de acuerdo en donde se realice el mezclado:

Pre-mezcla: Mezclado antes del quemador.

[10] Cacia-Madero K. Combustion with oxygen as a strategy to increase energy efficiency. Ingeniería y Universidad. 2013; 17(2):463-482.

[11] Borman G.L. Ragland K.W. Combustion Engineering. Estados Unidos: McGraw-Hill. 1998.

Cerrados: Mezclado en el quemador.

Abiertos: Mezclado mixto.

En este caso, el horno tiene seis quemadores, tres en cada lado y son del tipo cerrado de premezclado, en la siguiente imagen se puede observar un esquema

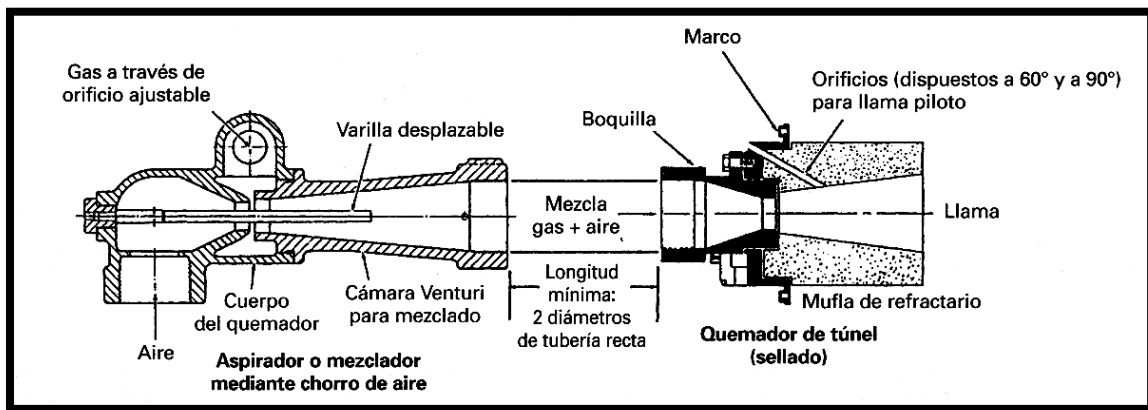


Imagen 8

Borman G.L, Ragland K.W. (1997) Combustion Engineering

El horno cuenta con tres zonas de calentamiento, cada una refiriéndose a cada par de quemadores, cuenta con 3 termopares atmosféricos para la medición de temperatura ambiente del horno y 3 termopares inmersos para la medición de temperatura del vidrio fundido. Todas las mediciones se registran con un sistema de control de PLC [12].

[12] PLC por sus siglas en inglés, Programmable Logic Controller, y en español cómo "Controlador lógico Programable, tiene el objetivo de enviar señales. En este caso de Temperatura.

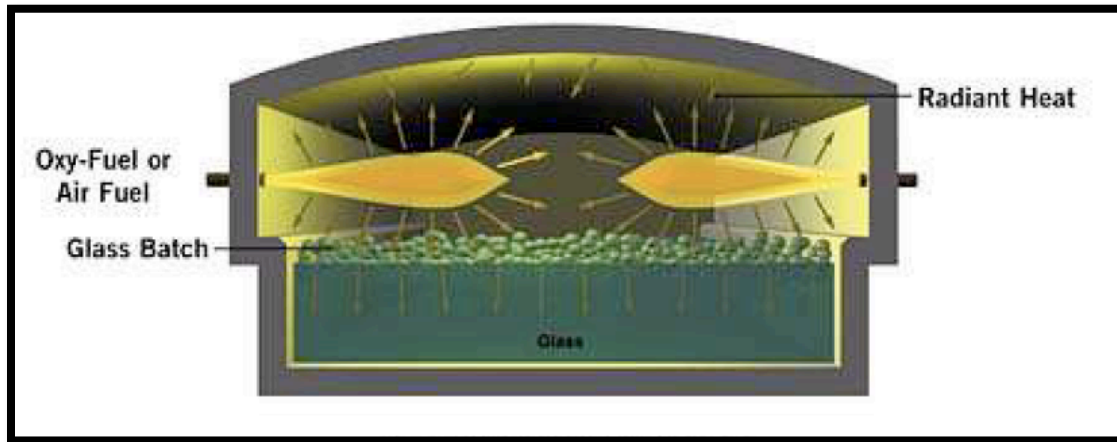


Imagen 9

Mathieu H. 2009) Basics of Industrial Glass Melting Furnaces (

3.3 ESTUFA DE CURADO

El curado de las fibras se realizan en hornos túneles, sin embargo para fines prácticos se le mencionará durante el presente trabajo como estufa de curado.

Al tener los filamentos de vidrio formador, estos pasan por la estufa de curado que brinda ciertas propiedades al producto por medio del tratamiento térmico. El producto, después de formado, tienen generalmente esfuerzos inconvenientes de acuerdo a EPA [13], en el cual el curado involucra el calentamiento de la fibra a una temperatura moderadamente elevada, y posteriormente se somete a

[13] EPA. Fiberglass Insulation [Internet]. 1986. Citado el 22 Septiembre 2016.

Disponible en:

<https://www3.epa.gov/climatechange/wyacd/waste/downloads/fiberglass-insulation10-28-10.pdf>

enfriamiento para suprimir la formación de esfuerzos, hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Adicional al curado del producto elimina la humedad remanente del producto y establece las propiedades del producto, que se desean al añadir con el aglutinante. Por otra parte la estufa de curado usada en la empresa del caso de estudio tiene tres zonas, cabe mencionar que, generalmente este tipo de estufas llegan a tener de dos a cuatro zonas, dependiendo de la producción y el tipo de productos que se estén fabricando, en la siguiente imagen se puede observar un esquema de la estufa de curado.

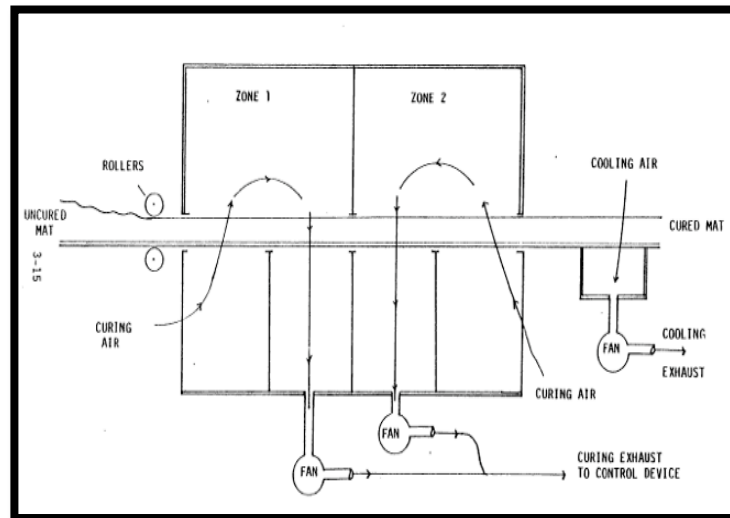


Imagen 10

EPA, (1986). Glass Fiber Manufacturing

Es importante mencionar que la temperatura de las estufas varía de acuerdo al tipo de productos, sin embargo se tiene un promedio de 350°C, y en procesos de este tipo el rango de temperaturas varía entre 175°C a 315°C. En este caso en particular las dos últimas zonas tienen un ventilador de succión por sección. Los ventiladores tienen como objetivo sacar el aire caliente de la zona anterior e ingresarlo por la parte inferior del producto en la zona siguiente. El tiempo de

residencia en la estufa de curado depende, de igual forma, de cada producto y es controlado por la velocidad de la banda por la cual pasa el producto. Regularmente el tiempo requerido varía en proporción al cuadrado del espesor.

Posteriormente en la estufa de curado, el producto se enfría pasando por las bandas de enfriamiento, en esta parte del proceso se extrae el aire ambiente y pasa a través del producto por la parte inferior de este.

El enfriamiento elimina las probabilidades de ignición del producto de igual forma se facilita el manejo o manipulación del producto por parte del personal.

3.4 VARIABLES MEDIDAS

Para realizar el diagnóstico energético se debe de considerar las temperaturas del ambiente de los equipos, paredes, y gases de exhalación de las chimeneas. También se debe de conocer la eficiencia de la combustión que se tiene y el consumo de combustible que se utiliza en los equipos.

Actualmente se cuenta con las temperaturas principales del horno, es decir con las que se tienen termopares fijos. Por lo que se procede a registrar la temperatura de las chimeneas.

Se cuenta también con el consumo de oxígeno y de gas natural por equipo, pero no se cuenta con la eficiencia de combustión, por lo que se procede a medir y a registrar este dato.

Con estos datos se procede a calcular la eficiencia que tenemos en nuestro equipos y así determinar las recomendaciones.

A continuación se presentan las diferentes variables mencionadas anteriormente y el equipo de medición que se requiere para obtener estos datos.

3.4.1 FLUJO Y VOLUMEN

Es importante medir el flujo del combustible, en este caso del gas natural así como el oxígeno, con la finalidad de tener la correcta ignición, evitando tener una combustión oxidante o reductora.

El dispositivo de medición es del tipo placa orificio, los componentes que integran el equipo de medición se dividen en elementos primarios y secundarios. Los primeros se encuentran dentro de la tubería por donde pasa el flujo, se integran por el orificio y la placa del orificio que consiste en una placa delgada y plana que va de 1/8" a 3/8" de espesor la cual es fabricada de acero inoxidable tipo 316 que garantiza su dureza. La placa tiene una perforación circular que guarda diferentes posiciones en relación con el centro de la tubería, esta posición puede ser concéntrica, excéntrica o segmentada, como se puede observar en la siguiente imagen.

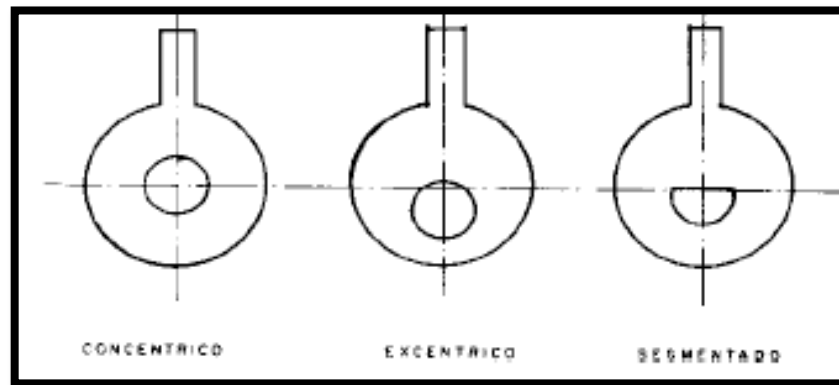


Imagen 11

Sánchez Acedo J, (2006) Instrumentación y Control Avanzado de Procesos

En este caso en particular se tiene una placa concéntrica. Los elementos secundarios se encuentran fuera de la tubería y son los que miden la presión antes y después de la placa, con el fin de tener un diferencial de presión. Para entender el funcionamiento, en la siguiente imagen se observa un corte transversal del dispositivo de medición.

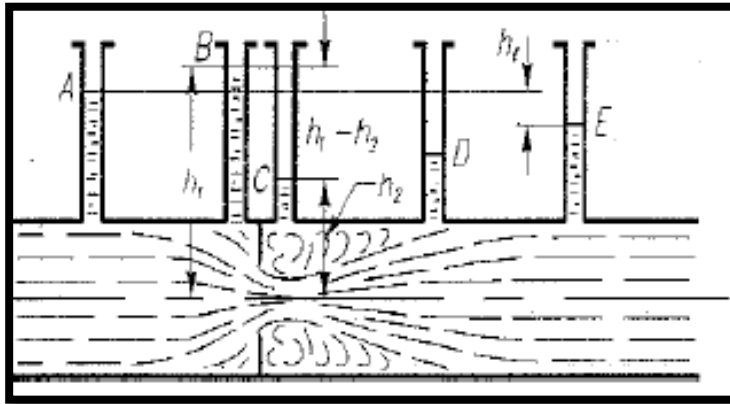


Imagen 12

Sánchez Acedo J,(2006) Instrumentación y Control Avanzado de Procesos

De acuerdo a Sánchez Acevedo [14], Se tiene un fluido con una velocidad “A” que al pasar por la placa concéntrica disminuye hasta una velocidad “C”, debido a esta reducción de velocidad la presión justo antes del orificio, en el punto “B” es un poco mayor que la presión de operación en la línea de conducción. Al tener la placa concéntrica hace que la velocidad del fluido disminuya al atravesarlo aguas arriba. Al pasar el fluido por el orificio, para compensar la disminución del área, la velocidad aumenta y la presión disminuye, llegando a su menor valor cuando la velocidad es la máxima. En aguas debajo de este punto, el flujo se dispersa, disminuye su velocidad y se tiene un aumento en la presión en el punto “D”, posterior a la placa, la velocidad se recupera porque el agua circula ocupando toda el área de la tubería, el cual se representa por el punto “E”.

[14] Sánchez Acevedo J.(Instrumentación y Control Avanzado de Procesos. Cap. 18. Madrid España: Ediciones Díaz de Santos; 2006.

Así la presión aguas arriba se interpretara con el índice “h₁” mientras que la presión agua abajo es “h₂”, y el diferencial de estos es “h”. En esta primera parte los elementos primarios tienen la función de generar la presión diferencial, mientras que los elementos secundarios miden y registran este dato.

Por otra parte para medir el gasto se determinan con las características de la tubería, la presión diferencial y la densidad del fluido. Con la ecuación de Bernoulli podemos tener la siguiente variable.

$$Q = \frac{Cd}{\sqrt{1 - \beta^4}} * \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2h}{\rho}}$$

Dónde:

Cd: es el coeficiente de descarga, el cual es un valor de ajuste que compensa la distribución de velocidades y las pérdidas de carga menores que no se consideran.

β: es el cociente del diámetro de orificio entre el diámetro de la tubería y se conoce como la relación de diámetros.

d: es el diámetro del orificio.

h: es el diferencial de presión.

ρ: es la densidad del fluido en kg/m³

La placa orificio se coloca entre dos bridas y en posición horizontal, y como se mencionó anteriormente los dispositivos secundarios se colocan antes y después de la placa. Esto se puede observar en la siguiente imagen.

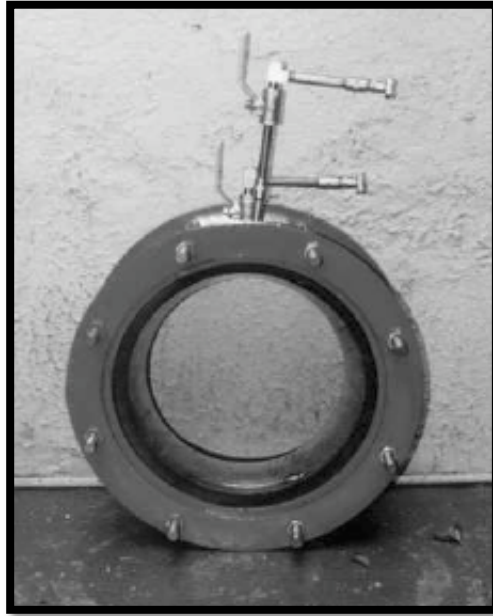


Imagen 13

Medidor Placa Orificio

Los datos son registrados y son enviados por señal al PLC el cual controla en forma manual y automática, generando las señales para la protección del proceso de combustión del horno.

En la tabla 1, se puede observar los fluidos que son medidos mediante estos dispositivos.

Fluido	Medición
Gas Natural	Flujo Totalizador-Volumen
Oxígeno	Flujo Totalizador-Volumen

Tabla 1

3.4.2 TEMPERATURA

Es importante tener la medición de esta variable con la finalidad de mantener el perfil de temperatura en las diversas zonas, tanto del horno, como de la estufa de curado.

El dispositivo de medición usado para medir la temperatura en diferentes sectores de los equipos consumidores de gas natural son los termopares. Un termopar consta de dos filamentos de materiales diferentes, unidos en un extremo para formar el punto de medición. Esto se puede observar en la siguiente imagen.

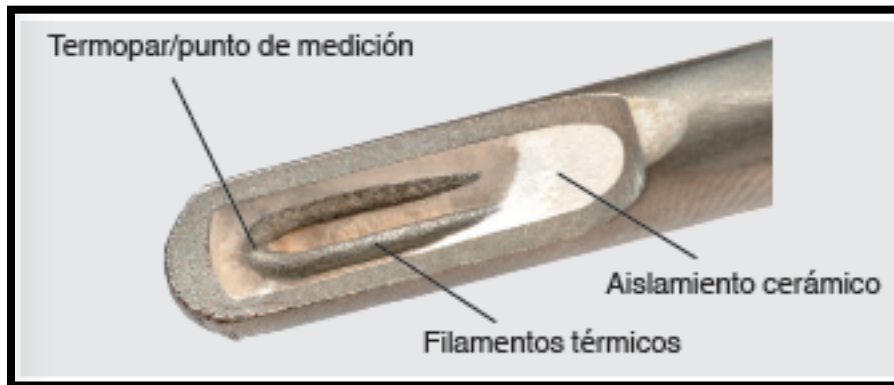


Imagen 14

WIKA SAU. (2014) El uso de termopares

Al calentarse el punto de medición se mide en los extremos de los filamentos, una tensión que es aproximadamente proporcional a la temperatura del punto de

medición. Este efecto se conoce como Seebeck según WIKA [15], en la unión se pone a una temperatura distinta a los extremos libres, en estos casos aparece un voltaje, el cual depende de la diferencia de temperaturas entre la unión y los extremos libres de los filamentos, así como al tipo de material usado en los filamentos.

Esto quiere decir que un termopar no mide la temperatura absoluta, si no la temperatura diferencial entre un punto caliente y otro frío. La siguiente imagen es representativa de esta diferencia de temperaturas.

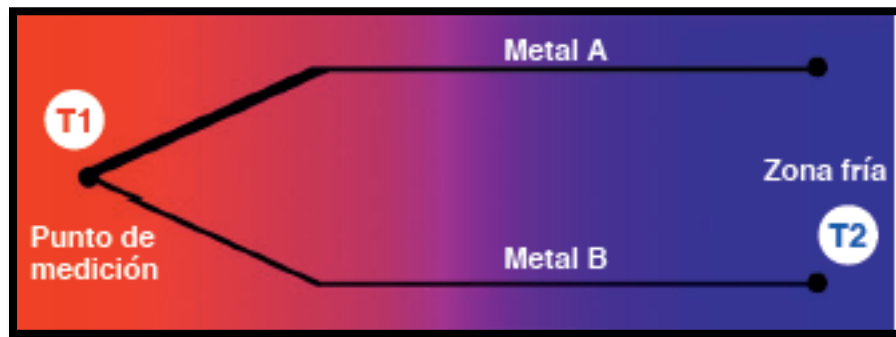


Imagen 15

Uso de termopares [14]

Dado que la medición de la tensión se realiza a temperatura ambiente, la tensión indicada sería inferior en un valor equivalente a la tensión de la temperatura ambiente. Para obtener un valor absoluto de la temperatura del punto de medición se aplica la llamada “compensación de la zona fría” la cual está incorporada en el circuito.

[15] WIKA SAU. El uso de termopares, Hoja técnica WIKA IN 00.23. España ; WIKA; 2014.

Para lograr las tensiones térmicas lo más elevadas posibles, se emplean combinaciones especiales de materiales para formar termopares, cuyas electronegatividades individuales sean lo más diferentes posibles, Estas combinaciones de materiales tienen límites de temperatura. Dicha características generan la clasificación de diferentes tipos de termopares, en este caso se tiene termopares del tipo R.

Los termopares de tipo R, están constituidos por metales nobles y son ideales para el uso continuo en atmósferas oxidantes o de gas inerte con temperaturas de hasta 1600°C. Normalmente contienen una vaina de cerámica cerrada unilateralmente y se requiere un tubo interior de cerámica cerrado de un lado ya que son susceptibles a la contaminación.

En la siguiente imagen, se pueden observar termopares rectos con vaina cerámica.

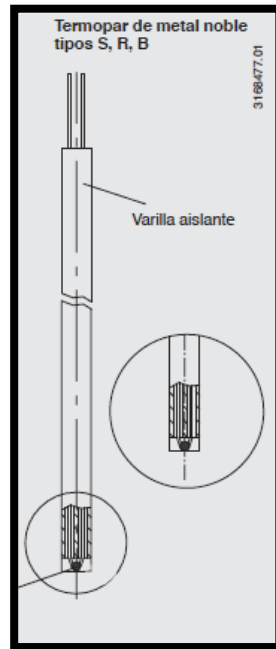


Imagen 16

Uso de termopares [14]

Para la estufa se requieren diferentes tipos de termopares, ya que la temperatura está muy por debajo de los del tipo R, en este caso se usan los E, los cuales son ideales en atmósferas oxidantes o de gas inerte de hasta 900°C.

Posteriormente los datos de temperatura son registrados y son enviados por señal al PLC el cual se encarga de controlar en forma manual y automática.

En la siguiente tabla se pueden observar las variables que son medidas por medio de termopares del tipo R.

Equipo	Variables
Horno Tipo R	Temperatura Atmosférica Temperatura de Vidrio fundido
Estufa Tipo E	Temperatura atmosférica de las tres zonas de la estufa.

Tabla 2

3.4.3 PRESIÓN INTERNA

Es importante tener registro de esta variable, ya que al tener alta presión positiva puede generar infiltraciones o flujo en las puertas y rupturas del horno, también puede afectar el mantenimiento del horno y la operación de este. En el caso contrario, de tener presión negativa, puede generar infiltraciones de aire frío, enfría la parte baja de la carga causando una baja calidad del producto, incrementa el consumo de combustible y afecta la atmosfera del horno.

Para medir la presión interna del horno, la cual corresponde a la presión manométrica se utilizan manómetros y transductores de presión, a esto se le conoce como sensores de presión.

El medidor de presión diferencial mide y controla la presión interna del horno a través de la válvula que se encuentra después de la chimenea, la cual permite la salida del humo del horno hacía la chimenea y hace que la presión interna del horno aumente o disminuya.

3.5 EQUIPOS DE MEDICIÓN REQUERIDOS

Como se mencionó en la metodología del diagnóstico energético de tipo 2 es de gran importancia para los resultados esperados analizar los equipos de medición que se requieren, con la finalidad de optimizar tiempos así como contar con las herramientas necesarias y que funcionen adecuadamente para dichas mediciones.

A continuación se presentan los dispositivos de medición adicionales a los mencionados en el capítulo anterior:

3.5.1 PIRÓMETRO

A medida que la temperatura de un cuerpo aumenta se vuelve difícil medirla con dispositivos convencionales ya que existe una desviación en la medición por lo que el uso de pirómetros son ideales en estos casos, debido a que miden la temperatura a través de la energía irradiada por el cuerpo. La siguiente imagen ilustra el dispositivo de medición.



Imagen 17

Existen tres tipos de pirómetros de acuerdo a Sánchez Acevedo [16], los de radiación, los ópticos y los infrarrojos. Los pirómetros de radiación se emplean para medir temperaturas mayores a 550°C hasta un poco más de 1600°C, captando toda o gran parte de la radiación emitida por el cuerpo a analizar. Este tipo de pirómetros se fundamenta en la ley de Stefan-Boltzmann, y determinan el efecto calorífico del muestreo obtenido mediante un sensor térmico como una termopila.

El pirómetro óptico se emplea para medir temperaturas de objetos sólidos que superan los 700°C. A esta temperatura los objetos sólidos irradian suficiente energía en la zona visible para permitir la medición óptica a partir del llamado fenómeno del color de incandescencia. Este tipo de pirómetros utilizan un método de comparación como base de operación. En general, una temperatura de referencia es proporcionada en forma de un filamento de lámpara eléctricamente calentada, y la medición de temperatura es obtenida comparando de manera óptica la radiación visual del filamento contra la de la fuente de calor a medir.

Los pirómetros infrarrojo maneja un principio similar que al de radiación, solo que las mediciones se restringen al segmento infrarrojo

Las principales aplicaciones de los pirómetros son las temperaturas en superficies fijas o móviles, para temperaturas superiores a la amplitud de los termopares, cuando se requiere gran velocidad de respuesta a los

[16] Sánchez Acevedo J. Instrumentación y Control Avanzado de Procesos. España: Ediciones Díaz de Santos; 2006. Cap. 18.

cambios de temperatura y cuando las condiciones mecánicas como vibraciones acorten la vida útil de un par termoeléctrico caliente.

Ninguno necesita contacto directo con el objeto a analizar ni una distancia particular, sin embargo se cuenta con una punta de medición y una pinza de medición con la finalidad de medir automáticamente la temperatura a través de la sonda.

En este caso el pirómetro que se uso fue el:

- Pirómetro infrarrojo PCE-890U [17], las principales especificaciones del equipo se pueden observar en el Anexo 1.

3.5.2 CÁMARA TERMOGRÁFICA

Las cámaras termográfica es un instrumento de medición de temperatura el cual funcionan según los principios de la termografía por infrarrojos, la cual es la ciencia que estudia el uso de dispositivos óptico-electrónicos para detectar y medir la radiación de las superficies a partir de la emisividad [18]. En la siguiente imagen se ilustra el equipo de medición usado.

[17] PCE INSTRUMENTS. Manual de instrucciones de pirómetro infrarrojo PCE-890U. España: PCE; 2015.

[18] FLUKE Corporation. Introducción a los principios de la termografía. Países Bajos: American Technical Publishers; 2009. p.72.



Imagen 18

FLIKE Corporation. Manual de Funcionamiento PCE-TC 30

Las cámaras termográficas son dispositivos que detectan patrones térmicos en el espectro de la longitud de onda infrarroja del blanco, este es el objeto que va a ser inspeccionado.

La radiación infrarroja converge, debido a la óptica de la cámara termográfica, en el detector para obtener una respuesta, que es normalmente un cambio de tensión o de resistencia eléctrica, la cual es leída por los elementos electrónicos del equipo. La señal producida por la cámara termográfica se convierte en una imagen electrónica en la pantalla, mejor conocida como termograma, el cual es la imagen del blanco electrónicamente procesado y mostrado en la pantalla en donde los distintos tonos de color corresponden con la distribución de la radiación infrarroja en la superficie del blanco. Con ese sencillo proceso, el

equipo es capaz de ver el termograma que corresponde a la energía radiada procedente de la superficie del blanco.

Las primeras aplicaciones de las cámaras termográficas tienen sus inicios en el uso militar y ha ido desplazándose hacia el control de procesos, detección o análisis de incendios, auditorías de aislantes acústicos, mantenimientos predictivos, seguridad, industria automotriz, etc.

En este caso la cámara termográfica que se uso fue:

- La PCE-TC 30[19] las especificaciones del equipo se pueden ver en el Anexo 2.

3.5.3 ANALIZADOR ELECTRÓNICO DE COMBUSTIÓN

El analizador electrónico de combustión es un instrumento en el que de una forma práctica y precisa se conoce y se controla ambos procesos en los que existen gases de exhalación debido a la combustión.

El punto de muestreo se realiza en la chimenea por donde pasan los gases por medio de succión a través de un orificio y obteniendo la concentración de los componentes mediante el analizador electrónico el cual tiene sensores electroquímicos con los que están equipados estos analizadores. Estos equipos contienen un termopar para la toma de temperatura de los gases, el equipo tiene la capacidad de medir la temperatura ambiente, los componentes que arroja el equipo de medición son el porcentaje en volumen del CO₂ y el O₂, las partes por millón del CO, el exceso de O₂ en porcentaje y el rendimiento de la

[19] FLUKE Corporation. Introducción a los principios de la termografía. Países Bajos: American Technical Publishers; 2009. p.72.

combustión. En la siguiente imagen se puede observar de manera ilustrativa el equipo que se utilizó para las mediciones.



Imagen 19

PCA Bacharach, Manual de Funcionamiento

Por otra parte la mayoría de los analizadores portátiles enfrían la muestra por debajo del punto de rocío, lo que hace condensar el agua formada en la combustión, la cual posteriormente es extraída del equipo, por lo que el dato que arroja el instrumento es en función de la composición seca de los gases.

- En este caso las mediciones se realizaron con un analizador electrónico de gases BACHARACH [20], las cuales e el Anexo 3 se pueden observar las principales especificaciones.

[20] PCA Bacharach. Manual de Funcionamiento de Analizador de gas de combustión. Estados Unidos: Bacharach; 2014.

En base a los equipos mencionados, así como las variables anteriormente descritas se hacen las mediciones pertinentes así como la recopilación de datos, con la finalidad de calcular la eficiencia del horno y de la estufa de curado.

3.5.4 TERMO ANEMÓMETRO

El termo anemómetro es un instrumento que tiene como función medir el flujo del aire, la velocidad del aire y la temperatura de este por medio de un termómetro infrarrojo sin contacto, en este caso para la temperatura de los gases de exhalación de las chimeneas a través de una sonda externa. La siguiente imagen es representativa del equipo de medición.



Imagen 20

- En este caso el equipo es un KM 6813/100 [21] algunas especificaciones de los equipos se pueden observar en el Anexo 4,

[21] PCE Instruments. Manual de Funcionamiento del Anemómetro [Internet]. . 2016. Citado el 27 Mayo 2016. Disponible en: https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/anemometro-kanomax-usa-inc.-anem_metro-de-rueda-alada-km-6813-100-det_97331.htm

3.6 FACTURACIÓN

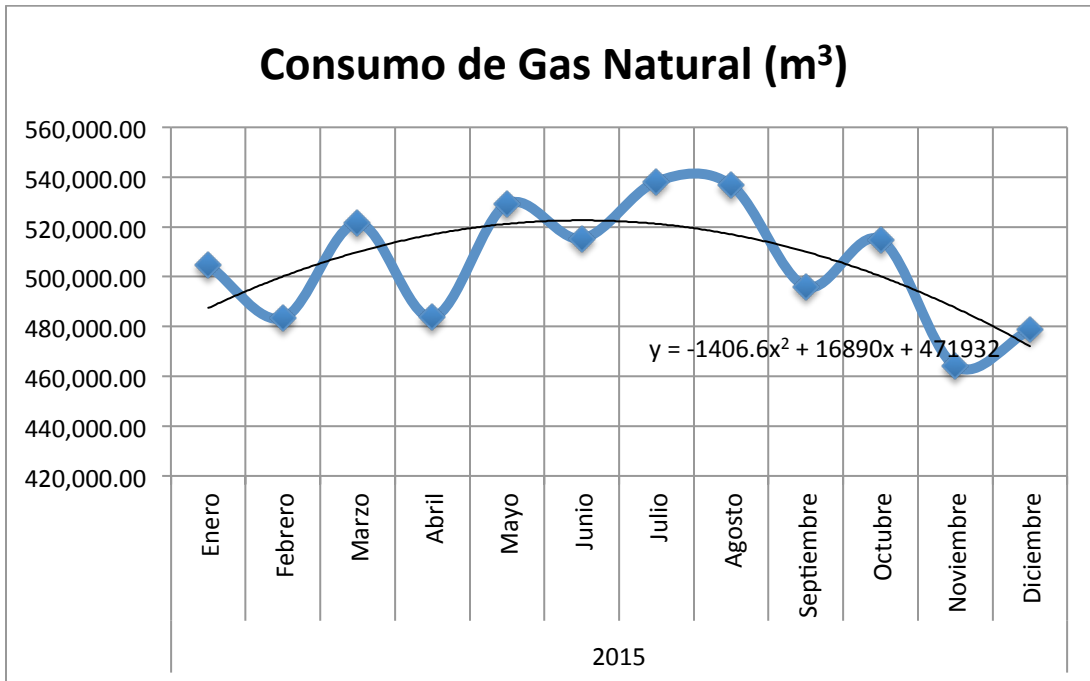
En la siguiente tabla se encuentra la facturación que se tuvo durante el 2015 del consumo de gas natural.

Año	Mes	m ³	GJ	\$ MXN	\$/GJ
2015	Enero	504,672.00	19,076.60	\$1,175,633.34	\$61.63
	Febrero	483,389.00	18,272.10	\$1,048,944.65	\$57.41
	Marzo	521,510.00	19,713.08	\$1,154,384.65	\$58.56
	Abril	483,700.00	18,283.86	\$927,058.78	\$50.70
	Mayo	529,220.00	20,004.52	\$992,643.07	\$49.62
	Junio	515,269.00	19,477.17	\$1,040,999.60	\$53.45
	Julio	538,170.00	20,342.83	\$1,090,859.07	\$53.62
	Agosto	536,799.00	20,291.00	\$1,155,427.82	\$56.94
	Septiembre	496,011.00	18,749.22	\$1,038,210.85	\$55.37
	Octubre	514,850.00	19,461.33	\$980,184.98	\$50.37
	Noviembre	464,079.00	17,542.19	\$1,022,453.63	\$58.29
	Diciembre	478,692.00	18,094.56	\$866,970.19	\$47.91
	Total	6,066,361.00	229,308.45	\$12,493,770.64	

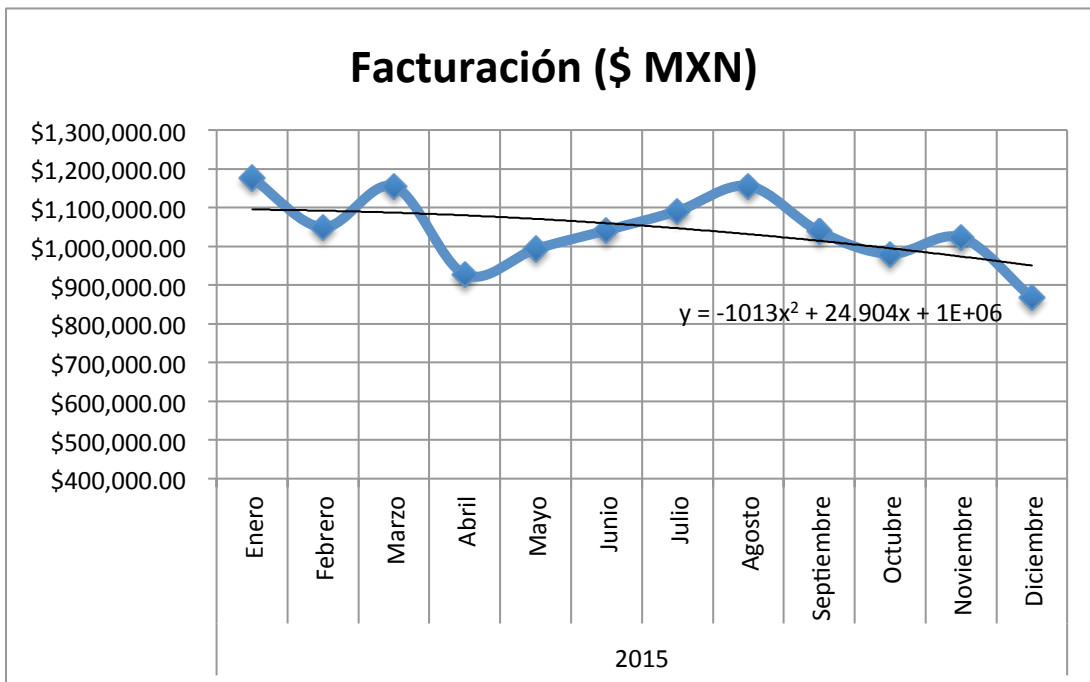
Tabla 3

Como se puede observar en la Tabla 2, se tienen variaciones entre cada mes, esto se debe principalmente a la demanda de producción que se tuvo durante el año, esta tendencia se puede observar en la Gráfica 1 con los metros cúbicos consumidos durante el 2015, así como la línea base.

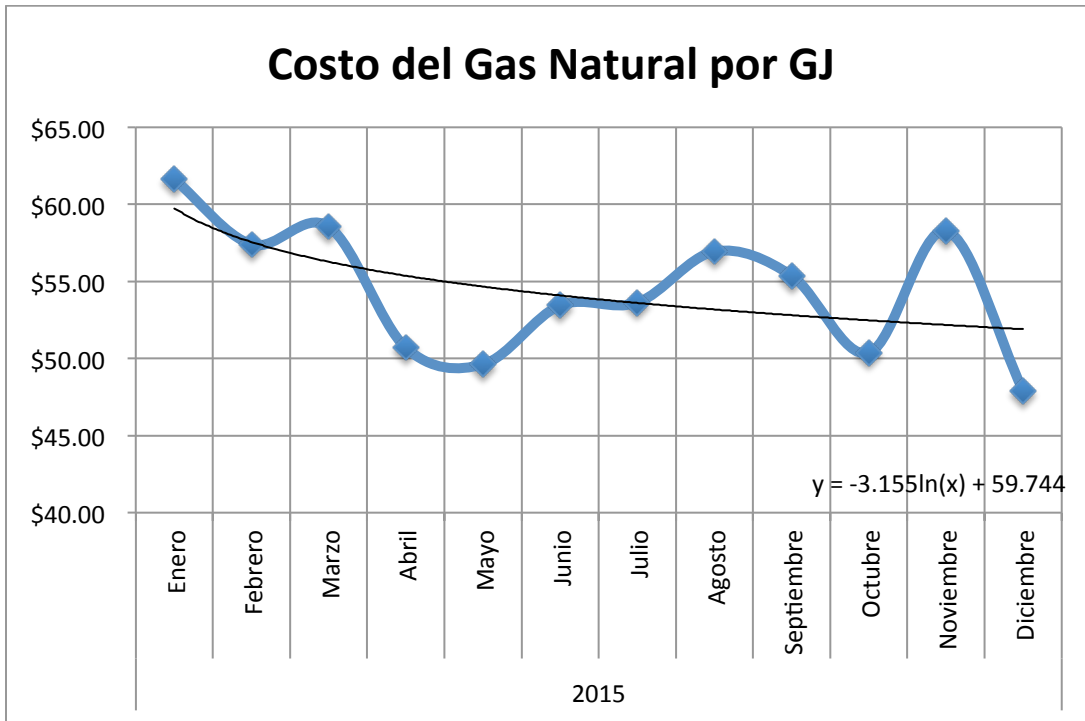
Por otra parte, en la Gráfica 2, se puede observar la facturación de dicho año y de igual forma la línea base. Es importante mencionar la fluctuación del precio del gas natural, Gráfica 3, el costo por GJ varía aún con consumos similares entre cada mes, estos costos son asignados por la Comisión Nacional Reguladora de Energía (CRE).



Gráfica 1. Consumo de Gas Natural



Gráfica 2. Facturación



Gráfica 3. Costo del Gas Natural por GJ

Se puede observar en las gráficas anteriores, las variaciones que se tienen entre estas se deben directamente a la producción que se tiene, por otra parte en la Gráfica 3, las variaciones del costo dependen directamente de las regulaciones con la CRE como se mencionó anteriormente.

3.7 CONSUMO POR EQUIPO

Debido a los equipos instalados se cuentan con los registros de consumos de gas natural de manera individual, es decir se tiene el consumo por horno, por estufa y una pequeña porción de gas natural se clasifico como varios, que corresponden al comedor y a regaderas con que cuenta la planta es posible establecer el historial de consumo respectivo. En tabla 8, se puede observar los consumos por equipo.

MES	ESTUFA m ³	HORNO m ³	VARIOS m ³	TOTAL m ³
Enero	78,827	393,088	32,757	504,672
Febrero	83,820	375,353	24,216	483,389
Marzo	89,283	398,459	33,768	521,510
Abril	89,283	364,077	30,340	483,700
Mayo	89,283	405,567	34,370	529,220
Junio	88,334	394,094	32,841	515,269
Julio	92,860	411,055	34,255	538,170
Agosto	90,962	411,006	34,831	536,799
Septiembre	91,258	373,132	31,621	496,011
Octubre	90,876	390,851	33,123	514,850
Noviembre	91,258	344,142	28,679	464,079
Diciembre	78,827	369,106	30,759	478,692
Total	1,054,871	4,629,930	381,560	6,066,361
Promedio	87,906	385,828	31,797	505,530

Tabla 4

Como se puede observar en la tabla en promedio el consumo de la estufa corresponde al 17%, el consumo del horno es el 76% y el consumo de varios corresponde al 6%.

En consecuencia las grandes áreas de oportunidad se presentan en los equipos de mayor consumo de combustible en este caso es el horno y la estufa de curado.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a la recopilación y medición de datos, se obtiene la información necesaria para realizar un diagnóstico energético.

4.1 INDICADORES ENERGÉTICOS

Con los datos recabados los indicadores energéticos que se propone en este diagnósticos son:

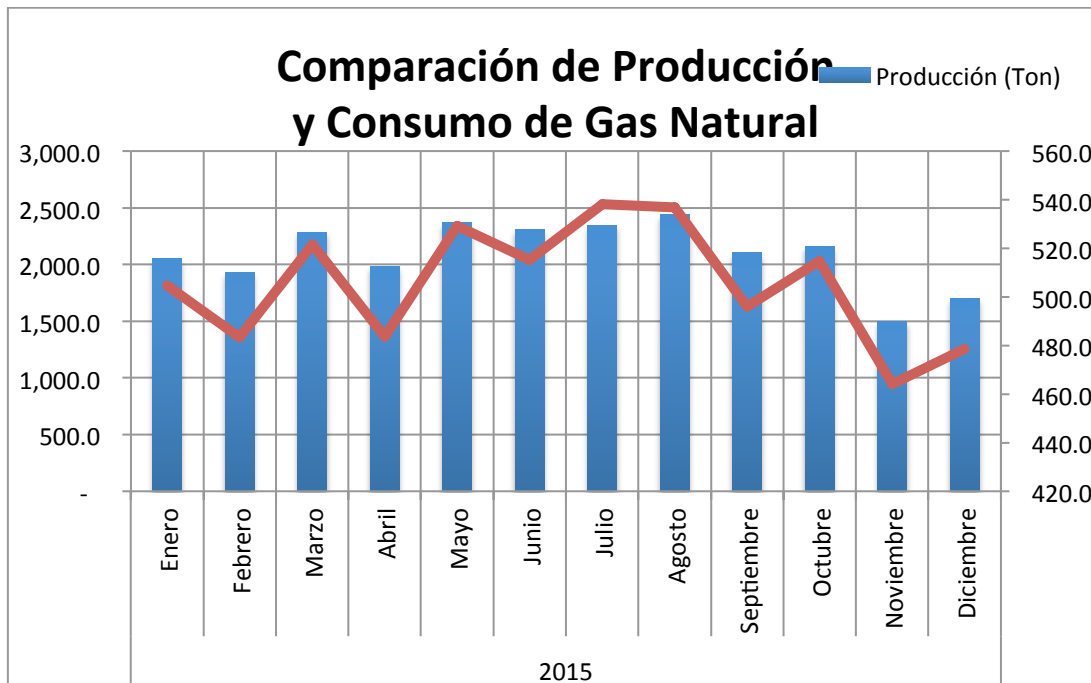
Consumo de gas natural de acuerdo a la producción (m^3/ton)

Facturación de gas natural de acuerdo a la producción ($\$/ton$)

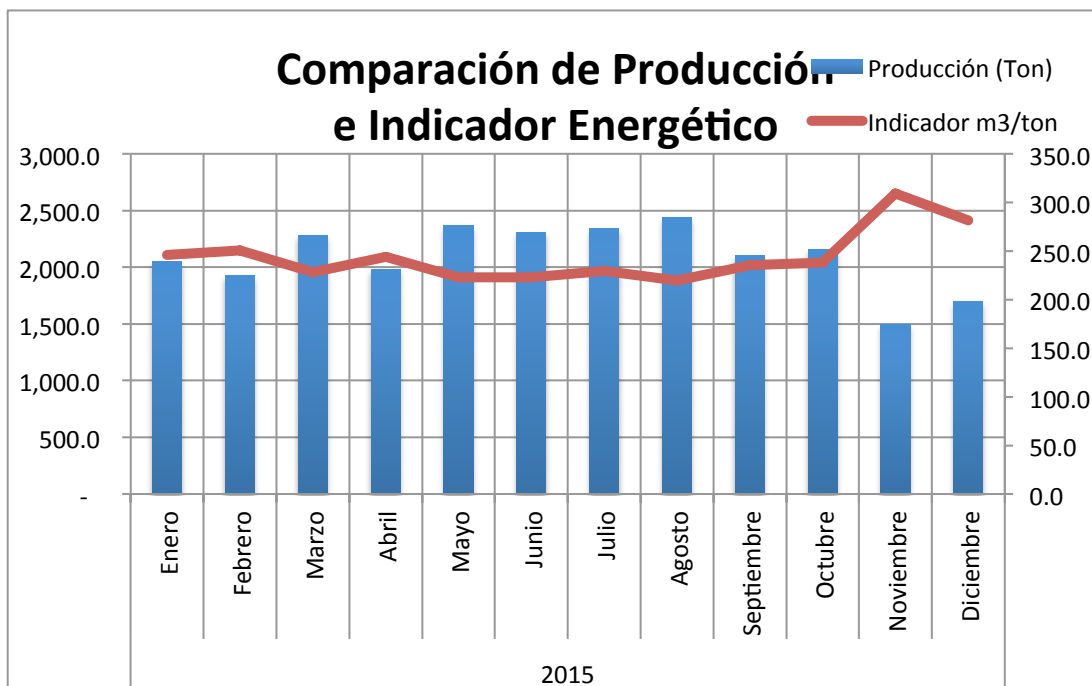
En la tabla 9 se puede observar la producción que se obtuvo durante el 2015, así como el indicador energético con respecto al consumo de gas natural. En la gráfica 4 se puede observar la comparación que se tiene entre estos dos aspectos. Mientras que en la gráfica 5 se observa el indicador.

Mes	Producción (Ton)	Gas Natural $m^3 \times 10^2$	Indicador m^3/ton
Enero	2,052.0	504.7	245.9
Febrero	1,929.0	483.4	250.6
Marzo	2,281.0	521.5	228.6
Abril	1,982.0	483.7	244.0
Mayo	2,369.0	529.2	223.4
Junio	2,310.0	515.3	223.1
Julio	2,346.0	538.2	229.4
Agosto	2,444.0	536.8	219.6
Septiembre	2,104.0	496.0	235.7
Octubre	2,162.0	514.9	238.1
Noviembre	1,500.0	464.1	261.9
Diciembre	1,701.0	478.7	281.4
Total	25,452.0	6,066.4	238.3

Tabla 5



Gráfica 4. Comparación de la producción y el consumo del Gas Natural



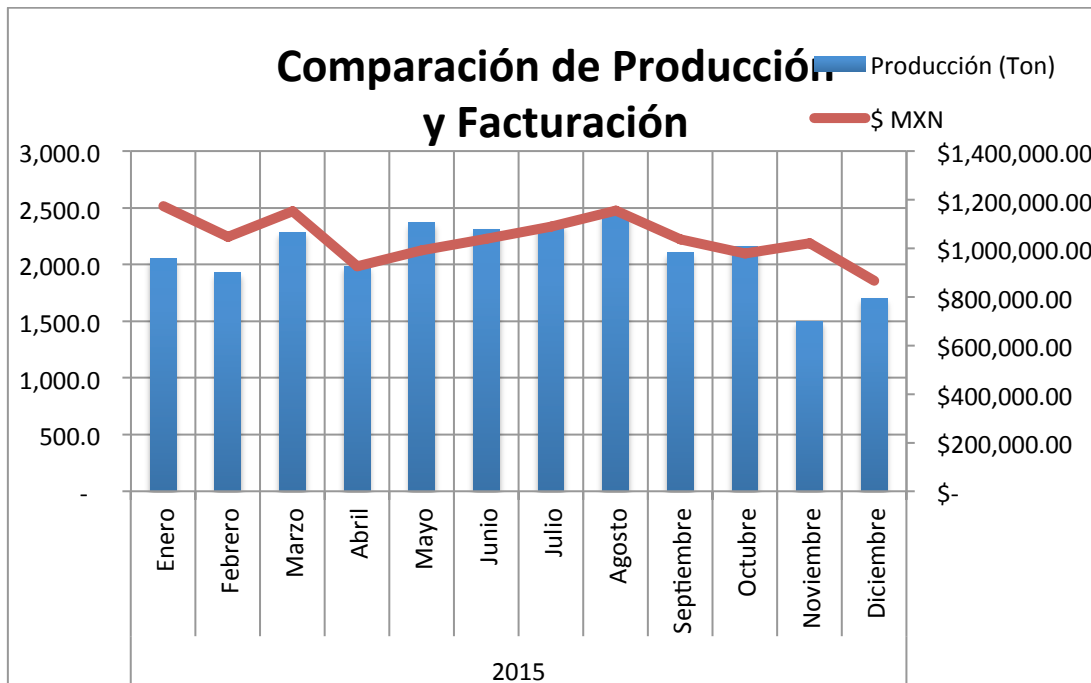
Gráfica 5. Comparación de la producción e indicador

En las gráficas anteriores se observa la correlación directa entre la producción mensual que se tiene cada mes contra el consumo de gas natural. De acuerdo a la gráfica 5, el indicador más bajo corresponde a los meses de Junio, Julio y Agosto, esto se debe a que en el mes de Junio el consumo de gas natural fue menor comparado con el consumo del mes de Agosto. La principal razón por la cual se obtuvo un indicador bajo en el mes de Agosto es por la producción de este mes, ya que fue el mes con mayor producción del año.

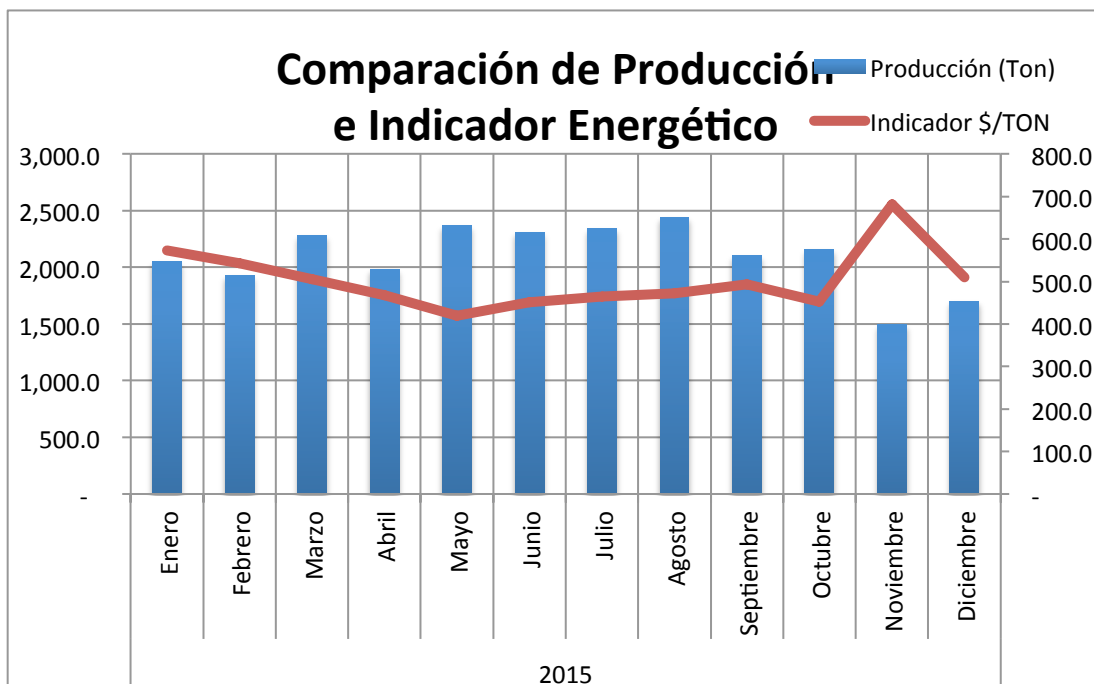
En la tabla 10 nuevamente se coloca la producción correlacionándolo con la facturación que se obtuvo durante el año y con ello determinar el indicador de producción con respecto al costo del combustible. En la gráfica 6 y 7 se observa la comparación de estos indicadores.

Mes	Producción (Ton)	\$ MXN	Indicador \$/TON
Enero	2,052.0	\$1,175,633.34	572.9
Febrero	1,929.0	\$1,048,944.65	543.8
Marzo	2,281.0	\$1,154,384.65	506.1
Abril	1,982.0	\$927,058.78	467.7
Mayo	2,369.0	\$992,643.07	419.0
Junio	2,310.0	\$1,040,999.60	450.6
Julio	2,346.0	\$1,090,859.07	465.0
Agosto	2,444.0	\$1,155,427.82	472.8
Septiembre	2,104.0	\$1,038,210.85	493.4
Octubre	2,162.0	\$980,184.98	453.4
Noviembre	1,500.0	\$1,022,453.63	681.6
Diciembre	1,701.0	\$866,970.19	509.7
Total	25,180.0	\$12,493,770.64	

Tabla 6



Gráfica 6. Comparación de la producción y factura



Gráfica 7- Comparación de Producción e indicador.

Como se puede ver en las gráficas anteriores el indicador más bajo corresponde al mes de Mayo, esto se debe a que fue uno de los meses con menor facturación y gran parte de esto se debe al costo del gas natural en GJ.

4.2 EFICIENCIA DEL HORNO

Para calcular la eficiencia del horno [22] se parte de la cantidad de calor de entrada, el calor de salida, las pérdidas que se tienen y el calor que se tiene en el vidrio. Con estas consideraciones en la siguiente imagen, se pueden observar todas las variables que se consideran para realizar el cálculo de la eficiencia.

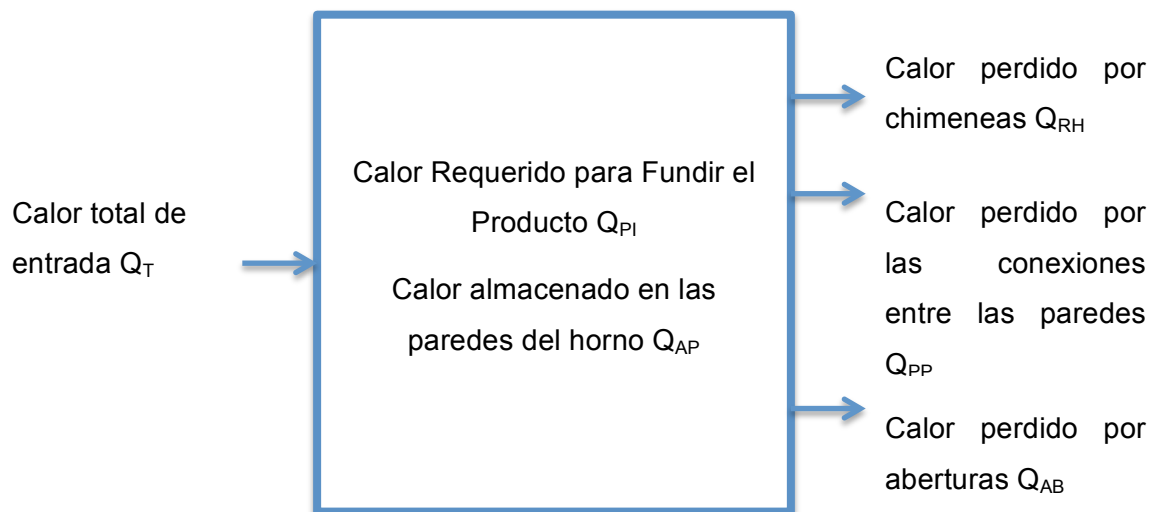


Imagen 21

A continuación se presenta las ecuaciones para el cálculo de cada una de las variables que presenta el horno.

[22] Auces E.A., Rodríguez J.A. Calculo de las necesidades de energía en un horno. Revista Ciencia e Ingeniería; 2003. Vol. 24 No. 3

Calor Requerido para Fundir el Producto Q_{PI}

Para realizar el cálculo del calor que se almacena dentro del producto fundido se realiza por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_{PI} = m * \sum C_{p_{PI}} * \Delta T$$

Donde:

m (kg): Masa total del producto fundido.

Masa de materia prima 82.512 ton/día las cuáles equivalen a 3,438 kg/h.

$\sum C_{p_{PI}}$ (kJ/kg °C): es el calor específico a temperatura ambiente y caliente.

Para calcular el calor específico del producto no se puede aplicar la ecuación de Debye por lo que se aplica la ecuación de Sharp-Ginther, que permite calcular entre una temperatura de 0° C a 1300°C, con una precisión del 1%, el calor específico se puede calcular mediante:

$$Cp = \frac{(aT + Co)}{0.00146T + 1}$$

$$Cp = \frac{\sum p_i (f_1 T + c_1)}{0.00146T + 1}$$

En la siguiente tabla se pueden observar los factores para calcular la capacidad calorífica de acuerdo a la composición de la materia prima.

Compuesto	a	Co
SiO ₂	0.000468	0.1657
Al ₂ O ₃	0.000453	0.1765
MgO	0.000514	0.2142
B ₂ O ₃	0.000598	0.1935
Na ₂ O	0.000829	0.2229

K ₂ O	0.000445	0.1756
Mn ₃ O ₄	0.000294	0.1498

Tabla 7

Con la ecuación mencionada anteriormente se calcula el calor específico a la temperatura deseada, la cual corresponde a 15°C para temperatura ambiente y 1205°C para la temperatura del vidrio fundido, los resultados que nos arroja se pueden ver en la siguiente tabla.

Cp	T ambiente	T material fundido
KJ/Kg °C	0.77	1.22

Tabla 8

ΔT (°C): Temperatura ambiente y la temperatura del material.

Temperatura del ambiente 15°C

Temperatura interna 1177 °C

Para conocer ambas temperaturas se usaron los equipos de instrumentación mencionados en los capítulos anteriores.

Posteriormente se calcula el calor almacenado en el producto fundido:

$$Q_{PI} = 3438.00 \frac{kg}{h} * \left[\left(0.77 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} + 1.22 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \right) * (1177 \text{ } ^\circ C - 15 \text{ } ^\circ C) \right]$$

Por lo que el calor en el vidrio es de:

$$Q_{PI} = 7,984,197.53 \frac{KJ}{h} = 7.57 \frac{MMBTU}{h}$$

Calor Almacenado en las Paredes del horno Q_{AP}

Para realizar el cálculo del calor que tienen almacenadas las paredes del horno se realiza por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_{AP} = m * C_{p_{AP}} * \Delta T$$

Donde:

m (kg): Masa de las paredes del horno, el cual se obtiene de diseño. Como se mencionó en los capítulos anteriores el horno cuenta con diferentes tipos de paredes, las cuales tienen diferente peso, ya que estas dependen del tipo de refractario que se esté usando en cada una de ellas, en la siguiente tabla se puede observar el peso de cada pared.

Pared	Peso (lb)	Peso (kg)
Frontal	28,412.0	12,887.7
Tucks	16,689.0	7,570.1
Izquierda Superior Lateral	16,997.0	7,709.8
Derecha Superior Lateral	16,957.0	7,691.7
Garganta del Horno	30,508.0	13,838.4
Laterales	50,483.5	22,899.3
Fondo	71,474.0	32,420.6
Total	231,520.5	105,017.7

Tabla 9

Por lo que el peso de las paredes del horno corresponde a 105,017.7 Kg.

$\sum C_{p_{AP}}$ (kJ/kg °C): es el calor específico de los refractarios.

De acuerdo a diseño corresponde a 0.76 kJ/kg °C.

ΔT (°C): Diferencia entre las temperaturas medias de las paredes y la temperatura ambiente.

Estos datos se tomaron por medio de la cámara termográfica así como el pirómetro, la temperatura media corresponde a 1310 °C en las paredes interiores mientras que en las exteriores corresponde a 450 °C.

Con los datos mencionados se procede a calcular el calor almacenado en las paredes del horno.

$$Q_{AP} = (105,017.7 \text{ kg}) * \left(0.76 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right) * (1310 \text{ }^\circ\text{C} - 450 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{AP} = 2,881,306.42 \frac{\text{kJ}}{\text{hr}} = 2.73 \frac{\text{MMBTU}}{\text{hr}}$$

Calor Perdido por Aberturas Q_{AB}

Se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_{AB} = Q_R * AET$$

Donde:

AET (m²): área total efectiva por la cual se pierde calor.

La cual es considerada de acuerdo a las reparaciones que se han hecho sobre el horno, cabe mencionar que la vida útil que lleva el horno es de 2 años. El área corresponde a 0.4 m².

Q_R (kJ/m² hr): Es el calor radiación.

Este último, se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_R = \sigma(T_G^4 - T_A^4)$$

σ : Constante de Stefan-Boltzman.

T_G : Temperatura de los gases.

Para tomar la temperatura de los gases se uso un termo anemómetro, y se tuvo un promedio de 670 °C.

T_A : Temperatura ambiente

En cuanto la temperatura ambiente se tuvo un promedio de 42 °C.

Sustituyendo, se tiene la siguiente ecuación:

$$Q_{AB} = [4.97 \times 10^{-8} (670^{\circ}C^4 - 42^{\circ}C^4)] * 0.4 m^2 * 4.184$$

$$Q_{AB} = 16,744.16 \frac{kJ}{hr} = 0.02 \frac{MMBTU}{hr}$$

Cómo se puede observar el valor de Q_{AB} es pequeño, en gran medida se debe a que no se han realizado reparaciones significativas por el tiempo de vida que tiene este equipo.

Calor Perdido por las conexiones entre las Paredes Q_{PP}

$$Q_{PP} = K * S * \Delta T$$

K (W/ m °C): Conductividad promedio de las paredes. En este caso se considera la conductividad térmica de diseño, la cual corresponde a 0.62 W/ m °C.

S (m) factor de forma tomados en cuenta en aristas, esquinas y pared.

En el caso de un horno se considera como una pared tridimensional, y se utilizan factores de forma separados para calcular el flujo de calor a través de las

secciones de borde y en esquina y la suma de éstas corresponde al factor de forma del horno. Por medio de la siguiente ecuación:

$$S_{Pared} = \frac{A}{L}$$

$$S_{Borde} = 0.54 * D$$

$$S_{Esquina} = 0.15 * L$$

$$S = S_{Pared} + S_{Borde} + S_{Esquina}$$

Donde:

A (m²): es el área interior de la pared.

L (m): es el espesor de la pared.

D (m): es la longitud del borde.

Como se mencionó, se considera el horno como una figura tridimensional, por lo que se tendrá 6 secciones de pared, el número de bordes será 12 y el número de esquinas 8, en la siguiente tabla se puede observar los datos para calcular el factor de forma, los cuales fueron recopilados de los planos del horno.

Sección		
A	Área interior de las paredes (m ²)	36.45
L	Espesor de la pared (m)	1.02
D	Longitud del borde (m)	9.83

Tabla 10

Con las ecuaciones descritas anteriormente se procede a calcular el factor de forma de cada una de éstas, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

S	m
S _{Pared}	35.74
S _{Borde}	5.31
S _{Esquina}	0.15

Tabla 11

Como se observa en la tabla anterior el resultado de factor de forma sólo corresponde a la sección, es decir 35.74 m corresponde a 1 pared, y así sucesivamente, por lo que se procede a calcular de acuerdo al número paredes, bordes y esquinas, los resultados se observan en la siguiente tabla:

S	m	Número		S _{Total}	m
S _{Pared}	35.74	De Paredes	6	S _{T Pared}	214.43
S _{Borde}	5.31	De Bordes	12	S _{T Borde}	63.67
S _{Esquina}	0.15	De Esquinas	8	S _{T Esquina}	1.22
				S _{Total}	279.32

Tabla 12

ΔT (°C): Diferencia entre la temperatura de la superficie interior y exterior.

Estas temperaturas corresponde a la temperatura media de la pared interna así como la temperatura externa, las cuales corresponden a 1310 °C y 450 °C respectivamente.

Con los datos previos se procede a calcular el calor perdido por las paredes.

$$Q_{PP} = \left(0.62 \frac{W}{m^{\circ}C}\right) * (279.32 m) * (1310^{\circ}C - 450^{\circ}C) *$$

$$Q_{PP} = 536,155.81 \frac{kJ}{hr} = 0.51 \frac{MMBTU}{hr}$$

Calor Perdido por chimenea Q_{RH}

El cual se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_{RH} = Q_T - Q_D$$

Donde:

Q_T es el calor total disponible

Q_D es el calor disponible en el sistema, el cual incluye el calor almacenado en el producto fundido, el calor almacenado en las paredes del horno, el calor perdido por las aberturas y el calor perdido por las paredes del horno.

Por lo que el calor disponible es igual a:

$$Q_D = Q_{PI} + Q_{AP} + Q_{AB} + Q_{APP}$$

$$Q_D = 10.82 \frac{MMBTU}{hr}$$

Posteriormente se calcula la eficiencia del horno por medio del calor que es aprovechado para la fundición del horno entre el calor total que se tiene:

$$\eta = \frac{Q}{Q_T}$$

Como se mencionó anteriormente Q corresponde al calor aprovechado para la fundición del vidrio, mientras que Q_T es el calor debido a la combustión del gas natural, por lo tanto tenemos:

$$\eta = \frac{7.57 \text{ MMBTU/hr}}{11.13 \text{ MMBTU/hr}} = 67\%$$

La eficiencia corresponde a 67% y de acuerdo al diseño del horno, la eficiencia es del 70%, como se puede observar existe gran similitud entre ambas, esto se debe en gran parte al tiempo de vida que tiene hasta este momento el horno, ya que la construcción de éste fue hace dos años, por lo que la eficiencia se “mantiene” relativamente constante.

A continuación se presenta el diagrama de Sankey, en el cual se puede observar las pérdidas que se tienen en nuestro proceso de forma gráfica, representando las flechas de mayor grosor en azul la energía aprovechada, mientras las de color rojo son las pérdidas de acuerdo al concepto.

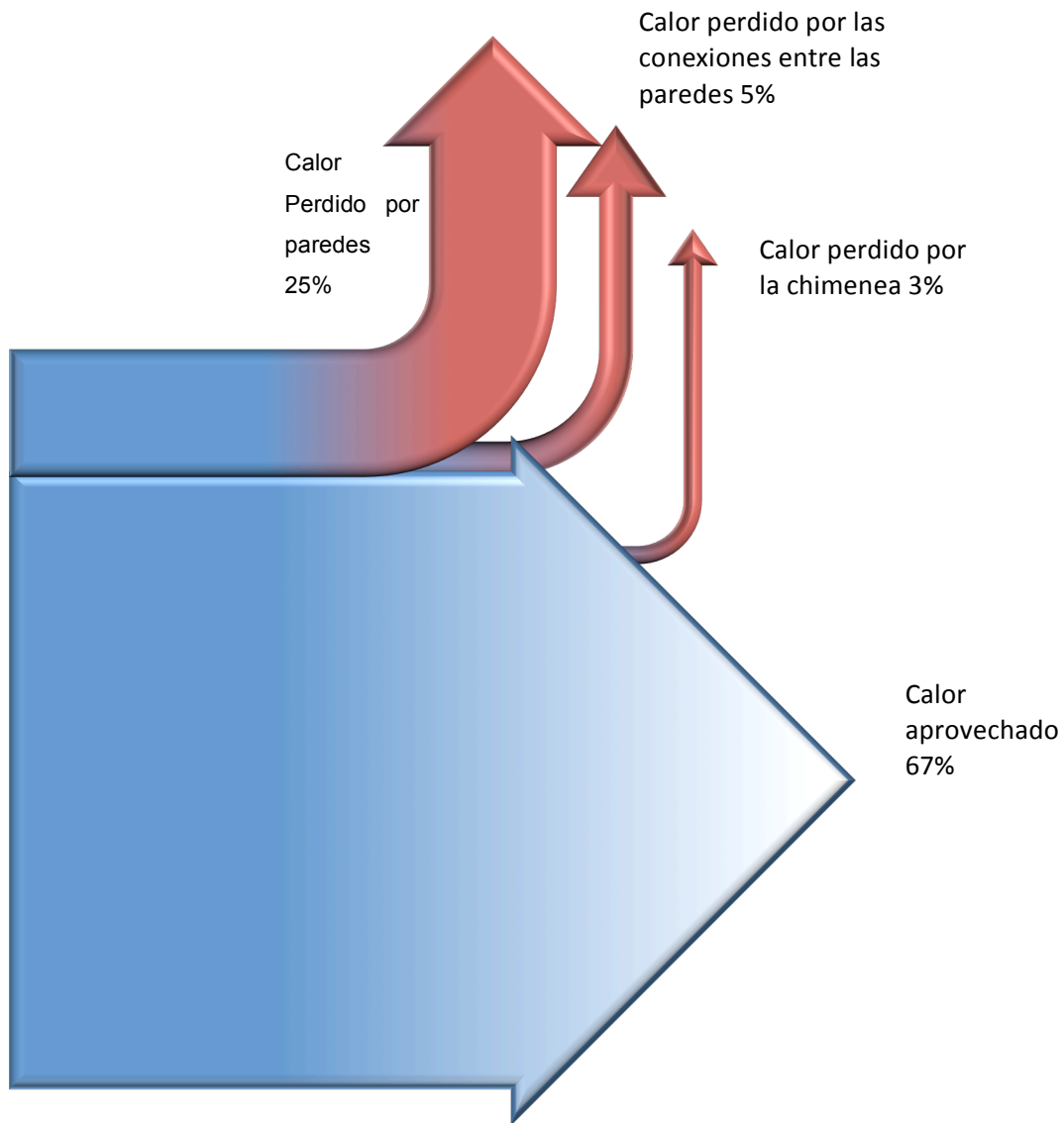


Imagen 22

En el diagrama de Sankey se muestra que la mayor pérdida se concentra almacenado en las paredes del horno con un 25%, mientras que las otras dos son representativamente pequeñas por tiempo de vida que tiene el horno.

4.3 EFICIENCIA DE LA ESTUFA DE CURADO

Para calcular la eficiencia de la estufa de curado, no se cuentan con datos de diseño ya que el tiempo de vida que tiene este equipo es de más 30 años, la durabilidad de este equipo recae en los mantenimientos mayores que se han realizado en este sistema.

Por otra parte el cálculo de la eficiencia de la estufa requiere comparar el calor transferido al vidrio con el calor proporcionado por el gas natural. La fórmula del calor transferido al vidrio es.

$$Q_{ve} = \dot{m} * C_{p_v} * (T_{fe} - T_{ie})$$

En donde T_{ie} es la Temperatura inicial con la que entra el vidrio a la estufa, T_{fe} es la temperatura final o temperatura dentro de la estufa del vidrio, y finalmente \dot{m} es el flujo másico del vidrio. Con los valores correspondientes, mostrados a continuación, se obtiene un valor de 0.96 MMBTU/h para el calor transferido al vidrio en la estufa.

$$\begin{aligned} Q_{ve} &= 3437.92 \frac{kg}{h} * 0.77 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} * (400 \text{ } ^\circ C - 20 \text{ } ^\circ C) = 1,005,934.42 \frac{kJ}{h} \\ &= 0.96 \frac{MMBTU}{h} \end{aligned}$$

Para el cálculo del calor total disponible, Q_t , proporcionado por el gas natural. Para obtener este valor se multiplico el flujo volumétrico del gas natural F_{GN} por la Energía entregada por m^3 de gas natural o E_{GN} . El calor total disponible es 4.38 MMBTU/h.

$$\begin{aligned} Q_t &= F_{GN} * E_{GN} \\ Q_t &= \frac{122.092 m^3}{h} * \frac{37800 kJ}{m^3} = \frac{4615065 kJ}{h} = 4.38 \frac{MMBTU}{h} \end{aligned}$$

La eficiencia está dada por la siguiente formula:

$$\eta = \frac{\text{Calor transferido al vidrio en la estufa}}{\text{Calor total disponible}} = \frac{0.96}{4.38} = 22\%$$

La estufa es poco eficiente debido a que es un equipo abierto en la entrada y salida del vidrio en donde las pérdidas al ambiente son considerablemente grandes.

5 PROPUESTAS DE AHORRO

Las propuestas de ahorro que se consideran se divide tomando en cuenta los tres grados de diagnósticos que se presentaron en capítulo 2, de acuerdo al tipo de inversión que se requiere para cada uno de ellos.

Recomendaciones del Diagnóstico de Primer Grado o DEN1

Como se mencionó anteriormente en la metodología, sólo son recomendaciones en las que no se tiene que hacer una inversión y son completamente administrativas.

De acuerdo al cálculo realizado la eficiencia del horno es de 67%, gran parte de esto se debe a la tecnología de este tipo de hornos y el tiempo de vida que esté posee, en este caso el tiempo de vida es de dos años.

Como propuesta administrativa se recomienda llevar un registro de los datos necesarios para calcular la eficiencia de horno, como se mostró en el capítulo 4, existen datos que son experimentales, otros que se obtienen de las bitácoras de operación del horno y algunos más que son del diseño de éste equipo.

La propuesta considera que la recopilación de datos experimentales se realice de manera cotidiana para identificar, esto se sugiere para llevar un histórico y el cálculo de la eficiencia se consideren promedios.

El objetivo de tener y conocer la eficiencia del horno es llevar el control del consumo que se tiene del gas natural en este equipo, así mismo conocer las deficiencias que se puedan estar generando, las cuáles se verán reflejadas en el aumento de pérdidas de calor, conociendo la eficiencia del horno se podrá pronosticar y conocer las variaciones que se puedan tener en la factura, .

El siguiente formato es el ejemplo para la recopilación de datos para el cálculo de la eficiencia.

Vidrio fundido		kg	Peso del Horno		kg
Tiempo de Operación		hr	Cp Refractario del Horno		KJ/Kg °C
Flujo de Vidrio Fundido		kg/hr	Temperatura ambiente dentro del horno		°C
Temperatura ambiente		°C	Temperatura Exterior		°C
Temperatura del Vidrio Fundido		°C	QAP		KJ/hr
Cp del vidrio a temperatura ambiente		KJ/Kg °C			
Cp del Vidrio Fundido		KJ/Kg °C			
QPI		KJ/hr			
Constante de Boltzman σ		Kcal/m ² K ⁴	Cp		KJ/Kg °C
Temperatura de los gases de exhalación		°C	Factor de forma (S)		m
		K	Temperatura ambiente dentro del horno		°C
Temperatura ambiente del sitio donde se encuentra el horno		°C	Temperatura Exterior		°C
		K	QPP		
Área de las aberturas		m ²			
QAB		KJ/hr			
Calor inicial del Horno		KJ/hr	Calor perdido por las chimenea		KJ/hr
Calor disponible		KJ/hr			
Eficiencia		%			

Como se puede observar, existen algunas celdas que se presentan en color azul y otros en color gris, los primeros representan datos que se calculan o que ya se tienen por diseño, y los segundos representan datos de bitácora que se toman con equipos de medición que no están en línea o de las bitácoras del horno, estos datos también se pueden obtener por medio de equipos de medición con señal al PLC.

El objetivo de este formato es copiarlos a la hoja de cálculo la cual se programó para el cálculo de la eficiencia.

Llevando el registro de los datos y el cálculo de la eficiencia se pretende llevar un histórico para verificar el desgaste de éste y del incremento del consumo de gas natural a medida que el tiempo de vida del horno va caducando con la intención de identificar en donde se encuentran las mayores pérdidas y las reparaciones menores y el reemplazo de aislante que se requieren.

A pesar de la baja eficiencia que se tiene en la estufa de curado, se requiere conocer la eficiencia de la estufa, por lo que se propone el levantamiento de datos en el siguiente formato.

Producto					
Cp		kJ/kg C	Q (Vidrio)		kJ/h
Producción		ton/día			BTU/h
		kg/día			MMBTU/h
Temperatura inicial		°C	Q (Gas)		kJ/h
Temperatura Final		°C			BTU/h
					MMBTU/h
Gas Natural			Eficiencia		%
Flujo Vol		m ³ /h			
Poder Cal		kJ/m ³			

Éste al igual que el formato de la estufa, refiere datos experimentales como los calculados, el seguimiento de éste formato presentará mejores prácticas en el proceso.

Recomendaciones del Diagnóstico de Segundo Grado o DEN2

Como se mencionó existe un 30% de productos que no pasan por la estufa de curado, actualmente se tiene una programación variada, es decir, durante los tres turnos se puede tener aleatoriamente productos curados y sin curar. Ya que la metodología del trabajo es “just in time” o justo a tiempo.

Por cuestiones de operación la estufa no se apaga con el fin de tener un perfil de temperatura constante sin que afecte a la producción continua que pasa por está.

Adicionalmente, la propuesta se basa en la producción continua de producto sin curar con la estufa apagada con la finalidad de evitar el gasto que se tiene cuando se produce de forma aleatoria este producto.

De acuerdo a la información presentada en capítulos anteriores, en la siguiente tabla se puede observar la información correspondiente a la producción de fibra que no se cura.

Producción	
Producción Mensual Promedio (Ton)	2,121.00
Producción Mensual Sin Curar (Ton)	636.00
Días de Producción Sin Curar al Mes	8

Tabla 13

De acuerdo a la tabla 17, se tendrá la estufa apagada durante 8 días seguidos, con esto no se tendrá registro de consumo de gas de la estufa. En la siguiente tabla se puede observar el consumo de gas de este equipo.

Consumo de Gas Natural en la Estufa	
Consumo Mensual Promedio (m ³)	228,398.73
Consumo Diario Promedio (m ³)	7,613.29
Consumo de Producción sin Curar (m ³)	60,554.21

Tabla 14

El costo promedio del GJ del Gas Natural durante el 2015 fue de \$54.49 GJ, el ahorro que se presentaría se observa en la siguiente tabla.

Ahorro	
Facturación Promedio del Gas Natural	\$1,333,464.08
Ahorro	\$ 125,013.81
%	9.4%

Tabla 15

Como se puede observar en la tabla 19, se tendría un ahorro del 9.4% con respecto a la facturación, pero se tendría que tener una bodega para almacenar el producto sin curar para su posterior distribución al cliente. Para conocer la inversión que se requiere se propone rentar una bodega continua a la planta, o la construcción de este en el predio.

En la primera opción, con la renta mensual de la bodega se tendría un costo fijo que reduciría el porcentaje de ahorro.

Realizando un estudio de mercado, se requiere que la bodega incluya la renta de los montacargas para el traslado de la bodega a la planta, y se tendría un consumo variable del combustible de estos. Considerando que las toneladas que se requieren almacenar son 636, se propone el siguiente arreglo, con la finalidad de maximizar espacios.

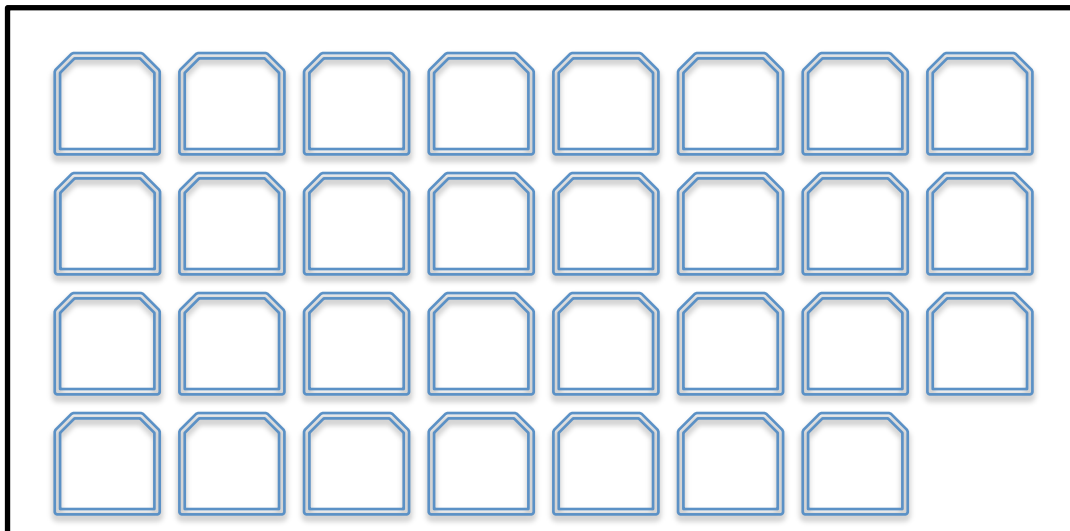


Imagen 23

Lay Out propuesto

Cada hexágono representa racks apilados, de acuerdo a la NOM-006-STPS-2000, se tiene 4 racks apilados los cuales tienen una capacidad de una tonelada cada uno.

Con esta configuración se requiere un área de 688 m², y el costo de la renta sería de \$43,000 mxn mensuales.

En la siguiente tabla se puede observar el porcentaje de disminución, la ventaja que presenta esta opción es que no se requiere inversión y el ahorro se ve reflejado de inmediato.

Ahorro Propuesta 1	
Facturación Promedio del Gas Natural	\$1,333,464.08
Ahorro de Gas Natural	\$125,013.81
Renta de la bodega	\$43,000.00

Costo del LPG Montacargas aprox	\$5,000.00
%	6%

Tabla 16

Cómo se puede observar el ahorro tuvo una disminución y ahora es del 6% mensual.

Por otra parte considerando la segunda opción, se tendría que hacer la construcción del almacén, y adicional se tiene que considerar el variable del consumo de gas LPG de los montacargas.

Cómo se menciona se requiere de un área de 688 m² realizando un estudio de mercado con diferentes contratistas el mejor precio de acuerdo al tiempo de ejecución pactado es de \$5,000,000.00 mxn. Realizando un retorno de inversión simple, se tendría un periodo de retorno de 3.33 años y con esto se tendría un ahorro del 9.4% mensual, que equivalen a \$1,500,165 mxn anuales.

Recomendaciones del Diagnóstico de Tercer Grado o DEN3

Actualmente el mercado de fundición existen opciones para el precalentamiento de la materia prima que ingresa al horno, de acuerdo a Cole William [23], con la finalidad de que la temperatura de ingreso de este al equipo sea más alta y se tenga un aprovechamiento del gas natural. La tecnología con la que precalientan la materia prima es con los gases de exhalación de la chimenea del horno. Estos gases tienen alta temperatura por lo que se aprovecha para el precalentamiento

[23] Cole William E. Combined Batch and Cullet Preheater with Separation and Remixing. 1992.

de la materia prima. Las diferentes tecnologías que existen en el mercado requieren que sea mayor de 350 °C para que el ahorro sea significativo y menor de 750 °C, por la dificultad que existe en el sistema, por arriba de esta última temperatura los gases de exhalación no son usados para el precalentamiento.

Con este tipo de tecnología la materia prima antes de ser alimentada al horno se conecta a un sistema por donde pasa las exhalaciones que emite la chimenea, este tipo de transferencia de calor por convección tiene la ventaja que las partículas sólidas que son emitidas de las exhalaciones del horno son retenidas en la materia prima, por lo que éstas se quedan en el horno y así se tiene una reducción en las emisiones a la atmosfera en cuánto a partículas sólidas, por lo que los gases de salida requieren menos tratamiento, sin embargo una consecuencia de este sistema recae en el alto contenido de sulfato o bisulfato en la materia prima.

Por otra parte el aprovechamiento de este sistema recae en varios factores, uno ya mencionado anteriormente es la temperatura de los gases de exhalación, la velocidad de estos gases, así como el tamaño de las partículas de la materia prima, el cual deberá ser entre 0.32 cm a 2.54 cm. Este tipo de tecnologías reduce hasta un 12% de consumo de gas al mes adicional al impacto que se tiene por las emisiones.

La siguiente imagen ilustra el proceso del precalentamiento de la materia prima, está cae por la línea 81, mientras que los gases de exhalación suben (línea 87) a través del sistema que está contacto directo. Las partículas sólidas más la materia prima cae por la línea 92 con una temperatura mayor de entrada lista para entrar al horno de fundición. Por cuestiones de seguridad existe en el sistema un by pass para que la materia prima no pase por este, y entre directo al horno de fundición.

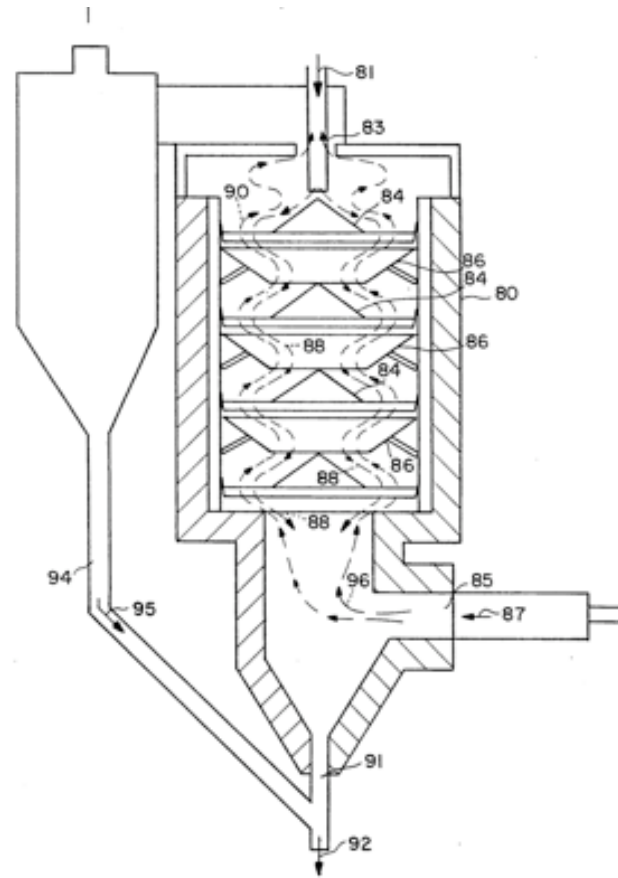


Imagen 24

Cole William E (1992) Combined Batch and Cullet Preheater with Separation and Remixing

Considerando la teoría que con este tipo de tecnología se tiene un ahorro del 12% de combustible, tendríamos la siguiente disminución en consumo si se toma el consumo del 2015.

MES	HORNO m3	Con Precalentamiento m3	Ahorro m3
Enero	393,088	345,917	47,171
Febrero	375,353	330,311	45,042
Marzo	398,459	350,644	47,815
Abril	364,077	320,388	43,689
Mayo	405,567	356,899	48,668
Junio	394,094	346,803	47,291
Julio	411,055	361,728	49,327
Agosto	411,006	361,685	49,321
Septiembre	373,132	328,356	44,776
Octubre	390,851	343,949	46,902
Noviembre	344,142	302,845	41,297
Diciembre	369,106	324,813	44,293
Total	4,651,365	4,074,338.40	555,591.60
Promedio	385,828	339,528.20	46,299.30

Tabla 17

Considerando el promedio de ahorro, así como el promedio del costo del GJ del 2015 se tendría el siguiente ahorro:

Promedio m3 Ahorrados	Promedio m3 Ahorrados	Promedio GJ Ahorrados	\$ MXN
46,299.30	655,146.00	1,754.31	\$95,590.71

Tabla 18

El tipo de tecnología propuesto requiere de una gran inversión el retorno de este se estima lejano debido al ahorro que se tiene considerando el precio del combustible.

6 CONCLUSIONES

La decisión de optar por alguna de las propuestas presentadas dependen enteramente de las necesidades y misión de la empresa, en algunas ocasiones la imagen que se desea que el público perciba de esta puede llevar a tomar decisiones que económicamente no sean factibles. Sin embargo a continuación se presentan las ventajas de cada una de las recomendaciones dadas.

Para las sugerencias presentadas en el diagnóstico de primer grado se recomienda altamente que se siga, ya que la inversión es nula y sólo se requiere capacitar al personal operativo de la importancia de realizar mediciones que normalmente no se llevan a cabo en las bitácoras actuales. El contar con un histórico del comportamiento del horno y de la estufa tiene el objetivo de conocer la operación que se está dando a estos sistemas, e identificar oportunamente las áreas en donde la pérdida de calor sea considerablemente mayor a lo habitual, así la toma de decisiones para reparaciones menores o mayores se tomará a tiempo para que las pérdidas sean las menores. Por otro lado, conocer la eficiencia y calcular, como está bajando nos dará una mayor percepción del tiempo de vida que tiene el equipo y pronosticar oportunamente el incremento en costo que tendremos en el combustible.

En cuanto a las dos opciones que se presentaron en el diagnóstico de segundo grado de igual forma depende de las decisiones que a la empresa le convenga, si no desea realizar una inversión se tendría un ahorro del 6% con respecto al consumo de gas natural. Por otra se tiene un retorno de inversión ligeramente superior a tres años con un ahorro del 9.4%. Así mismo una ventaja adicional de este diagnóstico es que se requiere menos personal durante los 8 días en los que produce aislante sin curar, por lo que podría programar diferentes actividades ajenas a la producción, es decir mantenimiento a la estufa y al resto de la línea

de producción, capacitación, vacaciones, etc. Con estas ventajas adicionales se aprovecharían para evitar el tiempo extra generado por la producción variada.

La propuesta de ahorro del diagnóstico de tercer grado requiere una inversión mayor, ya que es la incorporación de nuevos equipos y nueva tecnología. Por otra parte, de acuerdo a la teoría de este tipo de sistema se tiene un ahorro del 12% de consumo de combustible. Como se menciona en el diagnóstico de segundo grado el ahorro sería del 9.4% con la segunda opción, tan sólo 2.4% menos que la incorporación de nueva tecnología sin que la inversión sea mayor.

Finalmente con las propuestas que se tienen se recomienda seguir la del primer grado ya que este tipo de recomendación se refiere a mejores prácticas sin requerir inversión, la segunda recomendación que se sugiere tomar es cualquiera de las dos opciones del diagnóstico de segundo grado, ya que se tendría un ahorro considerable con cualquiera decisión que se tome. Por parte del diagnóstico de tercer grado se sugiere que se tome en consideración esta propuesta con la construcción del horno, es decir cuando el tiempo de vida del horno actual termine, se sugiere que este sistema se incorpore al nuevo proyecto ya que las ventajas que representa son considerablemente benéficas tanto para la disminución del consumo del gas natural y de la factura, así como las ventajas que se tienen en las emisiones de este.

7 ANEXO 1

Las principales especificaciones del equipo se encuentran en la siguiente tabla.

Especificación	Variación
Rango	50 ... 1150 °C
Precisión	±1.5%
Resolución óptica	50:1
Emisividad	Ajustable
Resolución	0.1 °C a 1000 °C
Tiempo de respuesta	<250 ms

Tabla 19

La correcta operación del equipo es fundamental para la recopilación de los datos, se debe sostener el medidor por el mango y apuntar hacia la superficie a medir, mantener pulsado el gatillo para encender el medidor, el icono "SCAN" empezará a medir. La temperatura de la superficie que se está midiendo aparecerá en la pantalla LCD, al soltar el gatillo, el icono HOLD, aparecerá y la lectura se mostrará por algunos segundos.

En la siguiente imagen se muestran la descripción del medidor.

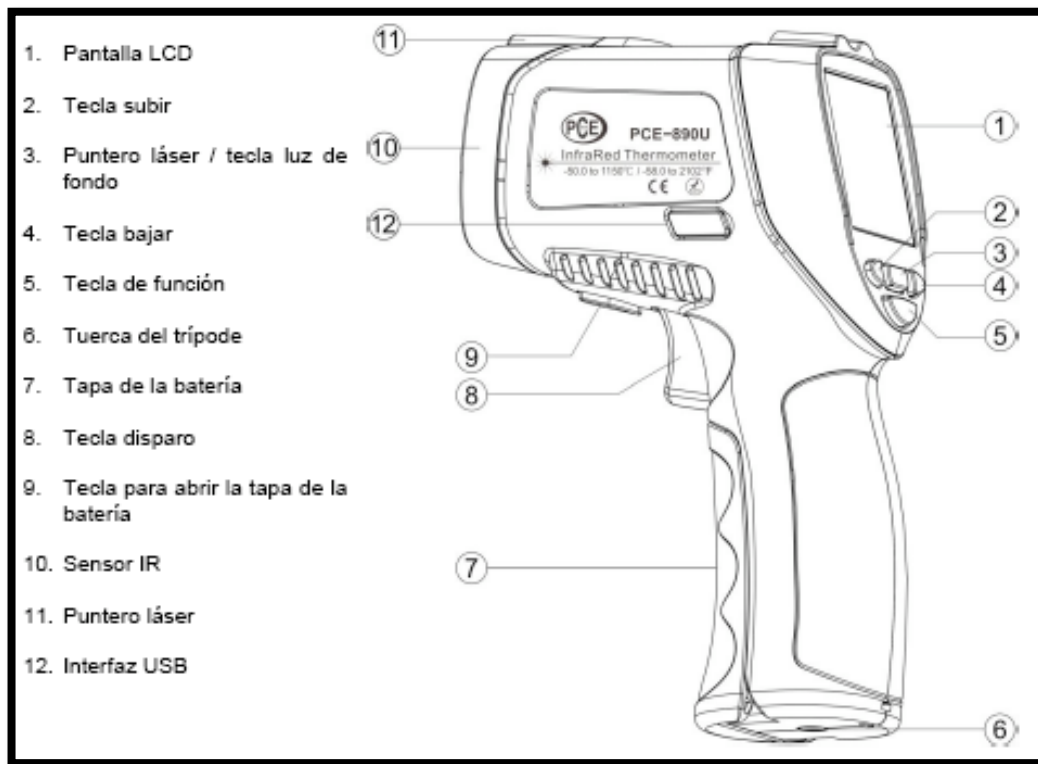


Imagen 25

Manual de Funcionamiento PCE-890U

8 ANEXO 2

En la siguiente tabla se muestran algunas especificaciones del equipo de medición:

Especificación	Variación
Rango	0 a 450°C
Resolución del Sensor	80 x 80 Píxeles

Sensibilidad Térmica	80 mK
Frecuencia de imagen	50Hz
Tiempo de respuesta	<250 ms

Tabla 20

Así como el dispositivo de medición anterior, se debe de seguir las instrucciones de medición para la obtención de datos. Se debe asegurar que el equipo cuente con la memoria SD para que pueda guardar los datos, posteriormente se debe de pulsar el botón Power hasta que encienda la cámara, apuntar hacia el blanco que se desea medir, y en caso de que requiera enfocar girar la perilla o rueda hasta lograrlo, finalmente se presiona el botón disparo cuando se requiera guardar la lectura. La siguiente imagen muestra la descripción del equipo de medición.

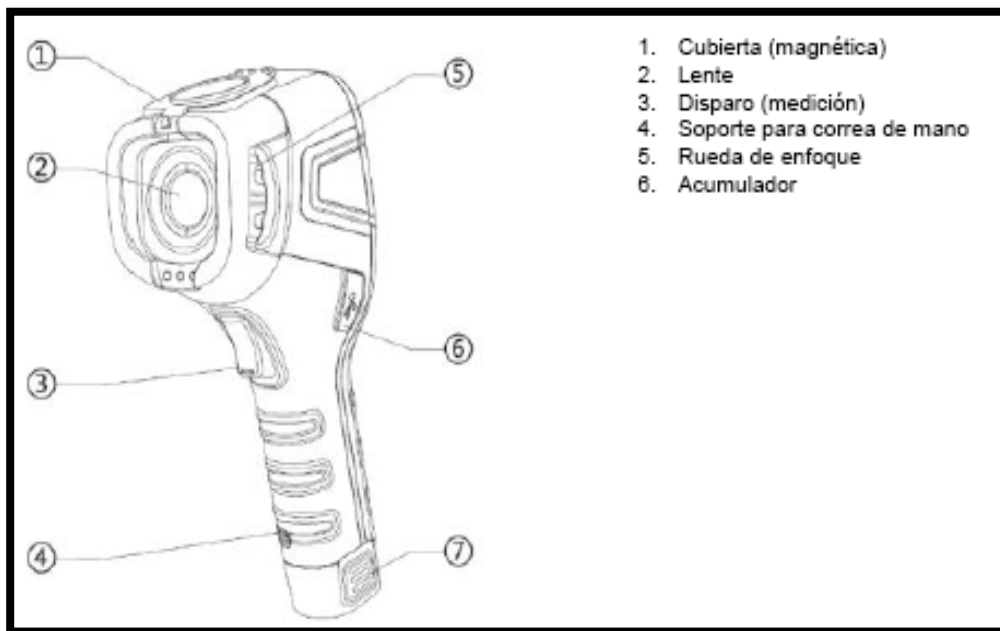


Imagen 26

FLUKE Corporation. Manual de Funcionamiento PCE-TC 30

9 ANEXO 3

En la siguiente tabla se pueden observar algunas especificaciones.

Especificación	Variación
Rango de O2	0.1 a 20.9%
Resolución del Sensor	320 x 240 Píxeles
Temperatura del Conducto	-20 a 1200 °C
Temperatura del Aire ambiente	-20 a 537 °C

Rendimiento	0.1 a 100%
--------------------	------------

Tabla 21

Con el objetivo de tener datos confiables se requiere seguir las instrucciones del equipo de medición para así evitar desviaciones en este. Se debe de dejar pre calentar el equipo por 60 segundos, durante este tiempo el analizador efectúa un autodiagnóstico con el fin de detectar errores, en caso de que esté no detecte se procede a seleccionar el tipo de combustible que se está usando, en este caso gas natural, posteriormente se usa el termopar para medir la temperatura de los gases. Al tener este dato se procede a la prueba de combustión introduciendo el tubo de la sonda del analizador a la corriente de gas de la chimenea y posteriormente se presiona el botón de HOLD, se podrá observar en la pantalla la leyenda de “Prueba de Combustión” y el equipo empezará a realizar el diagnóstico de los componentes que se encuentran en los gases. Se debe de dejar el equipo operando por lo menos 5 minutos con el objetivo de tener lecturas precisas.

En la siguiente imagen se pueden observar la descripción general del equipo.

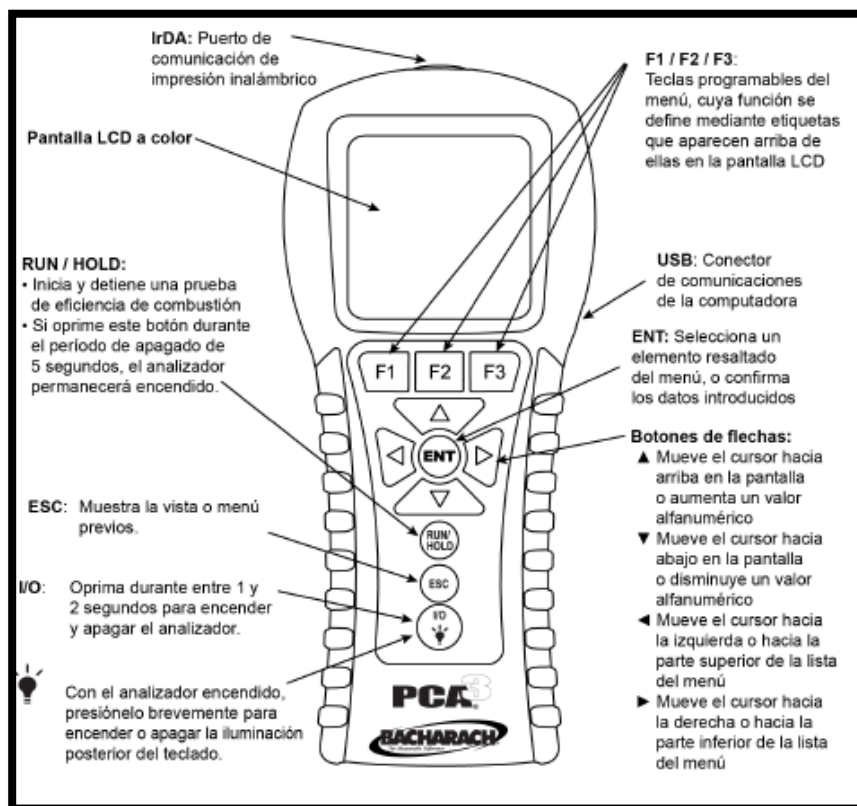


Imagen 27

PCA Bacharach, Manual de Funcionamiento

10 ANEXO 4

En la siguiente tabla se pueden observar algunas especificaciones de interés del equipo.

Especificación	Variación
Temperatura de la sonda	30 – 800 °C
Sonda Opcional	95 – 900 °C

Precisión	±0.3% de lectura en °C
Sonda	70 mm de diámetro
Sonda opcional	25 mm de diámetro

Tabla 22

11 BIBLIOGRAFÍA

[1] SENER. Prospectiva del Gas Natural y Gas LP 2014-2028. México: SENER; 2014. p.19.

[2] FIDE. Programa integral de “Asistencia técnica y capacitación para la formación de especialistas en ahorro y uso eficiente de energía eléctrica”. Mexico-Guatemala: FIDE; 2010. p.4.

[3] FIDE. Programa integral de “Asistencia técnica y capacitación para la formación de especialistas en ahorro y uso eficiente de energía eléctrica”. Mexico-Guatemala: FIDE; 2010. p.5-7.

[4] Cengel A.Y. Heat Transfer. 2º Ed. Estados Unidos: McGraw Hill; 2004. p. 62-112.

[5] Bingham P. y Wallenberger F. Fiberglass and Glass Technology.Reino Unido: Springer; 2010. p.3-15, 355-380.

[6] El efecto Joule, es un fenómeno irreversible por el cual un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se trasforma en calor, debido a los choques que sufren los átomos del material conductor por el que circulan se eleva la temperatura. Cengel.

- [7] EPA. Glass Fiber Manufacturing [Internet]. 1986. Citado el 23 Agosto 2016. Disponible en: <https://www3.epa.gov/climatechange/wycd/waste/downloads/fiberglass-insulation10-28-10.pdf>.
- [8] Kiriishi K. y Fujimine T. High Efficiency Furnace with Oxy-Combustion and Zero-Emission by CO₂ Recovery [Internet]. 2008. Citado el 02 Agosto 2016. Disponible en: <http://members.igu.org/html/wgc2009/papers/docs/wgcFinal00580.pdf>
- [9] Mathieu H. Basics of Industrial Glass Melting Furnaces [Internet]. 2009. Citado el 18 Septiembre 2016. Disponible en: http://www.lehigh.edu/imi/teched/GlassProcess/Lectures/Lecture03_Hubert_industglassmeltfurnaces.pdf
- [10] Cacia-Madero K. Combustion with oxygen as a strategy to increase energy efficiency. Ingeniería y Universidad. 2013; 17(2):463-482.
- [11] Borman G.L. Ragland K.W. Combustion Engineering. Estados Unidos: McGraw-Hill. 1998.
- [12] EPA. Fiberglass Insulation [Internet]. 1986. Citado el 22 Septiembre 2016. Disponible en: <https://www3.epa.gov/climatechange/wycd/waste/downloads/fiberglass-insulation10-28-10.pdf>
- [13] Sánchez Acevedo J.(Instrumentación y Control Avanzado de Procesos. Cap. 18. Madrid España: Ediciones Díaz de Santos; 2006.
- [14] WIKA SAU. El uso de termopares, Hoja técnica WIKA IN 00.23. España ; WIKA; 2014.
- [15] Sánchez Acevedo J. Instrumentación y Control Avanzado de Procesos. España: Ediciones Díaz de Santos; 2006. Cap. 18.

- [16] PCE INSTRUMENTS. Manual de instrucciones de pirómetro infrarrojo PCE-890U. España: PCE; 2015.
- [17] FLUKE Corporation. Introducción a los principios de la termografía. Países Bajos: American Technical Publishers; 2009. p.72.
- [18] FLUKE Corporation. Introducción a los principios de la termografía. Países Bajos: American Technical Publishers; 2009. p.72
- [19] PCA Bacharach. Manual de Funcionamiento de Analizador de gas de combustión. Estados Unidos: Bacharach; 2014.
- [20] PCE Instruments. Manual de Funcionamiento del Anemómetro [Internet]. . 2016. Citado el 27 Mayo 2016. Disponible en: https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/anemometro-kanomax-usa-inc.-anem_metro-de-rueda-alada-km-6813-100-det_97331.htm
- [21] Auces E.A., Rodríguez J.A. Calculo de las necesidades de energía en un horno. Revista Ciencia e Ingeniería; 2003. Vol. 24 No. 3
- [22] Cole William E. Combined Batch and Cullet Preheater with Separation and Remixing. 1992.