



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

OPTIMIZACIÓN DE LA MATRIZ ENERGÉTICA DEL HORNO CONTINUO DE COCCIÓN B&T 3200 EN LA EMPRESA C.A. ECUATORIANA DE CERÁMICA.

VERÓNICA MARIANA CARRERA ESPINOZA

**Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo,
presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH,
como requisito parcial para la obtención del grado de:**

MAGISTER EN INGENIERÍA QUÍMICA APLICADA

RIOBAMBA - ECUADOR

Enero -2020



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado “Optimización de la matriz energética del horno continuo de cocción B&T 3200 en la Empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica”, de responsabilidad de la Sra. Verónica Mariana Carrera Espinoza ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Dr. Galo Montenegro Córdova PhD.

PRESIDENTE

FIRMA

Ing. Paúl Palmay Paredes Mag.

DIRECTOR

FIRMA

Ing. Daniel Chuqín Vasco Mag.

MIEMBRO

FIRMA

Ing. Hugo Segundo Calderón Mag.

MIEMBRO

FIRMA

Riobamba, Enero, 2020

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Verónica Mariana Carrera Espinoza, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Verónica Mariana Carrera Espinoza

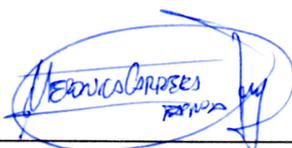
CI: 0603189820

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Verónica Mariana Carrera Espinoza, declaro que el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, Enero de 2020.



Verónica Mariana Carrera Espinoza

CI: 0603189820

DEDICATORIA

A mis padres Mariana y Bolívar por ser parte esencial en mi vida y por su respaldo incondicional; a mis hijos Santiago Nicolás y Ana Belén por ser mi inspiración para seguir adelante, a mi esposo por su apoyo en el cumplimiento de los objetivos planteados

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, prestigiosa institución la cual me ha brindado la oportunidad de desarrollarme académicamente.

A mi tutor y asesores: Ing. Paúl Palmay, Ing. Daniel Chuquín y al Ing. Hugo Calderón; por sus acertados y valiosos consejos, para la culminación del presente proyecto de investigación.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
RESUMEN _____	XII
ABSTRACT _____	XIII
CAPÍTULO I _____	1
1. INTRODUCCIÓN _____	1
1.1 Planteamiento del problema _____	2
1.2 Formulación del problema _____	4
1.3 Preguntas directrices o específicas de la investigación _____	4
1.4 Justificación de la investigación _____	4
1.5 Objetivos de la investigación _____	5
1.6 Hipótesis. _____	6
CAPÍTULO II _____	7
2. MARCO TEÓRICO _____	7
2.1 Antecedentes del problema _____	7
2.2 Bases teóricas _____	8
2.2.1 <i>Proceso de fabricación de productos cerámicos tradicionales.</i> _____	8
2.2.2 <i>Materias primas utilizadas en la industria cerámica</i> _____	9
2.2.3 <i>Consumo de energía en la fabricación de baldosa cerámica</i> _____	11
2.2.4 <i>Calor de reacción en composiciones cerámicas</i> _____	12
2.2.5 <i>Horno de cocción</i> _____	12
2.2.6 <i>Importancia de la etapa de cocción.</i> _____	15
2.2.7 <i>Balance de energía zona de cocción.</i> _____	18
2.2.8 <i>Estudio técnico.</i> _____	19
2.2.9 <i>Estudio económico-financiero.</i> _____	19
2.2.10 <i>Gas natural</i> _____	20
2.2.11 <i>Gases Efecto Invernadero (GEI)</i> _____	21
2.2.12 <i>Estudio ambiental</i> _____	22
CAPÍTULO III _____	23
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN _____	23
3.1 Tipo y diseño de investigación _____	23
3.2 Métodos de investigación _____	23

3.3	Enfoque de la investigación	23
3.4	Alcance de la investigación	24
3.5	Metodología	24
3.5.1	<i>Balance de energía en la zona de cocción</i>	24
3.5.2	<i>Validación de la simulación</i>	26
3.5.3	<i>Cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero GEI</i>	26
CAPÍTULO IV		27
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1	Análisis del diagnóstico inicial de la etapa de cocción.	27
4.2	Análisis de la caracterización de las emisiones atmosféricas generadas por el horno continuo B&T 3200.	31
4.4	Análisis del costo de producción de la baldosa cerámica en la etapa de cocción al cambiar la matriz energética del horno continuo B&T 3200.	36
CONCLUSIONES		37
RECOMENDACIONES		38
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2: Composición de las materias primas empleadas en la fabricación de los soportes de baldosas cerámicas (en % en peso).	10
Tabla 2-2: Estructura modular del horno B&T 3200	12
Tabla 3-2: Principales transformaciones que tienen lugar durante el ciclo de cocción.	17
Tabla 1-3: Variables consideradas en el balance de energía.....	24
Tabla 1-4: Composición de la baldosa cerámica. Porcelanato	27
Tabla 2-4: Partes principales de los quemadores.....	29
Tabla 3-4: Consumo diésel y producción mensual para el Horno B&T 3200	30
Tabla 4-4: Caracterizaciones gaseosas HORNO B&T 3200 (diésel) 2º semestre 2018	31
Tabla 5-4: Caracterizaciones gaseosas HORNO B&T 3200 (GN) del 8-09-2018	32
Tabla 6-4: Resultados obtenidos del balance de energía – Diésel	33
Tabla 7-4: Costos de combustibles	34
Tabla 8-4: Comparación de datos de combustibles	35

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Proceso de fabricación de productos cerámicos tradicionales.....	9
Figura 2-2: Distribución del consumo energético de energía en la fabricación de baldosas cerámicas.....	11
Figura 3-2: Módulos de pre-cocción	13
Figura 4-2: Módulos de cocción.	14
Figura 5-2: Módulos de enfriamiento.	15
Figura 6-2: Diagrama de Sankey del balance de energía en el horno completo	16
Figura 7-2: Ejemplo de una curva típica de cocción de composiciones cerámicas tradicionales, con las transformaciones físico-químicas que tienen lugar.....	18
Figura 8-2: Esquema de las partes consideradas en la zona para el balance de energía	19
Figura 1-4: Esquema de un horno monoestrato de rodillos	28
Figura 2-4: Esquema del material refractario en una sección del horno	29
Figura 3-4: Consumo de combustible líquido para el Horno B&T 3200.....	31

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Acuerdo No. 091 - Límites máximos permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas para actividades hidrocarburíferas

Anexo B: Balance de energía de la etapa de cocción Horno B&T 3200

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo la optimización del horno continuo de cocción B&T 3200 en la empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica por medio del uso de su sistema alterno de combustible con Gas Natural mediante un análisis técnico y ambiental. Para determinar el cambio de la matriz energética de diésel a gas natural, se realizó un balance de energía completo en la zona de cocción del horno trabajando con diésel, en el que se determina que el calor total aportado por la combustión es 3136,6 kW, de los cuales se entrega el 65,52% para eliminar el agua libre del biscocho, un 21,20% para que se den todas las reacciones y un 13,28 % de calor perdido por paredes y por fugas. Una vez conocido el calor necesario y considerando las condiciones de estacionalidad del horno se calcula el consumo de diésel obteniendo como resultado 2153,00 kg/s y el consumo de gas natural de 1922,00 kg/s. Posteriormente se analiza las emisiones de gases efecto invernadero que se genera por la combustión, resultando que el diésel emite 7219,79 kg CO₂/s y el gas natural 5998,40 kg CO₂/s. Para los flujos máxicos obtenidos de diésel y gas natural, se tiene un costo de 1837,87 USD/s y 679,089 USD/s respectivamente. El costo de producción por m² en la etapa de cocción al utilizar gas natural como combustible para generar la energía térmica es menor comparado con el costo al utilizar diésel, por lo tanto el uso del gas natural optimiza el proceso de cocción disminuyendo: el costo de producción, emisiones de CO₂ y el consumo de combustible.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICO>, <MATRIZ ENERGÉTICA>, <GAS NATURAL >, <BALANCE DE ENERGÍA>, <ENERGÍA TÉRMICA>.



ABSTRACT

The objective of this study is the optimization of the B&T 3200 baking oven in the company C.A. Ecuadorian Ceramics through the use of its alternative fuel system with Natural Gas through technical and environmental analysis. A complete energy balance was made in the oven cooking zone working with diesel to determine the change of the energy matrix from diesel to natural gas. It is determined that the total heat contributed by combustion is 3136.6 kW, of which 65.52% is delivered to remove the free water from the biscuit, 21.20% for all reactions to occur, and 13.28% of heat lost by walls and leaks. Once the necessary heat is known and considering the seasonal conditions of the kiln, diesel consumption is calculated, resulting in 2153.00 kg / s and natural gas consumption of 1922.00 kg / s. Subsequently, the greenhouse gas emissions generated by combustion are analyzed, resulting in diesel emitting 7219.79 kg of CO₂ / s and natural gas 5998.40 kg CO₂ / s. For the mass flows obtained from diesel and natural gas, there is a cost of 1837.87 USD / s and 679.089 USD / s, respectively. The production cost per m² in the cooking stage when using natural gas as a fuel to generate thermal energy is lower compared to the price when using diesel. Therefore, the use of natural gas optimizes the cooking process by decreasing the production cost, CO₂ emissions, and fuel consumption.

Keywords: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <ENERGY MATRIX>, <NATURAL GAS>, <ENERGY BALANCE>, <THERMAL ENERGY>.



CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La planta industrial de C.A Ecuatoriana de Cerámica está ubicada en la ciudad de Riobamba, desde hace 60 años; es una empresa reconocida en el ámbito de la construcción a nivel nacional. Su línea de producción es fabricación de productos cerámicos: pavimentos y revestimientos (baldosas cerámicas). Fabrica tres tipos de baldosa cerámica, según su composición: pasta monoquema, monoporosa y porcelanato. La línea N.4 produce productos con pasta de porcelanato, cuyo proceso de fabricación es el mismo que la cerámica tradicional, incrementado la etapa de rectificado. El proceso de fabricación inicia con la etapa de *preparación de pasta* que involucra el pesaje en la báscula de materias primas (sólidas), luego por medio de bandas transportadoras se envía hacia el molino de pasta donde se obtiene una pasta líquida la cual es enviada a cisternas para una homogenización completa para luego enviarla al atomizador en donde se retira humedad obteniendo una pasta atomizada. La pasta atomizada pasa a la *etapa de prensado* en donde se obtiene el biscocho el cual pasa a la *etapa de esmaltación* en donde se utiliza tecnología inkjet para dar el diseño y se envía a la *etapa de cocción* que se realiza en un horno de rodillos monoestrato en el que adquiere características como resistencia mecánica, brillo, entre otras; el porcelanato cocido pasa a la *etapa de rectificado* y finalmente pasa a la *etapa de clasificado* y palletizado.

La composición cerámica del porcelanato tiene una composición química y mineralógica que le permite tener en la etapa de monococción las transformaciones físico-químicas que dan las características deseadas al producto final, así como evitar las variaciones de la temperatura de cocción dentro de los límites establecidos.

El horno estudiado B&T 3200, tiene una capacidad de producción de 7000 m² día, es el horno con mayor capacidad instalado en la planta industrial; el proceso de fabricación de baldosas cerámicas es intensivo en energía, pues comprende las etapas de secado y cocción en las que el producto se somete a un tratamiento térmico. Actualmente, la energía térmica requerida en la etapa de cocción se obtiene por la combustión del diésel industrial, combustible de origen fósil, cuya oxidación conduce a la emisión de dióxido de carbono, uno de los gases causante del efecto invernadero. Los costes energéticos en el proceso de cocción suponen alrededor de un 14 % del coste de fabricación del producto.

C.A. Ecuatoriana de Cerámica es una empresa comprometida con el medio ambiente, razón por la que constantemente va evolucionando en tecnología en todas las etapas del proceso de fabricación de cerámica; desde hace varios años la empresa, de manera estratégica ha ido implementando paulatinamente, el cambio de combustible para la generación de energía térmica. Sin embargo, no existe un estudio en el que se evidencie las ventajas de realizar el cambio de matriz energética.

El objetivo del estudio fue optimizar la matriz energética del horno continuo de cocción B&T 3200 de C.A. Ecuatoriana de Cerámica, el cual está dividido por capítulos:

En el capítulo I, se visualiza el planteamiento, formulación y objetivos de la investigación.

En el capítulo II, se realiza una revisión de literatura que corresponde al marco teórico y conceptual que sustenta la razón de ser del proyecto.

En el capítulo III se presenta la metodología de trabajo que se empleó para recabar la información de la investigación.

En el capítulo IV se establece la propuesta de cambio de matriz energética a través del desarrollo de los estudios técnico- operativo, ambiental y económico.

En conclusión, el presente trabajo se constituye en una herramienta muy importante ya que con el estudio de la optimización de la matriz energética del horno continuo de cocción B&T 3200 de la empresa C.A. Ecuatoriana de Cerámica se evidenciará las ventajas ambientales y económicas para la comunidad y empresa respectivamente.

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Situación Problemática

1.1.1.1 Dimensión macro

La fabricación de productos cerámicos requiere un gran aporte de energía térmica para realizar los procesos de secado y cocción. En la actualidad, el combustible más empleado en la industria cerámica a nivel internacional, especialmente en España en la provincia de Castellón es el gas natural. La energía eléctrica se consume en todas las etapas del proceso, en mayor medida en las fases de molienda de materias primas y de conformado de la pieza, pero su consumo global es muy inferior al de energía térmica. (Vidal, 2017)

Desde 1945 hasta mediados de la década de los años 80, la industria cerámica experimentó notables transformaciones tecnológicas que llevaron a la recuperación de la competitividad, y posibilitaron después la innovación del proceso, tanto en sus características intrínsecas como en los aspectos formales (Jaramillo, Martín, 2013)

1.1.1.2 Dimensión meso

En países en vías de desarrollo, el uso de gas natural como material combustible para generar energía térmica es bajo comparando con los países industrializados. En el Hemisferio los hidrocarburos juegan papel importante en las relaciones entre EEUU y Venezuela, pero también en las que se dan entre México, Cuba, Venezuela, Colombia, Brasil, Perú, Ecuador, Argentina, Bolivia o Chile, por citar sólo algunos países claves (Arriagada, 2006).

De los estudios realizados por la Empresa Pública de Hidrocarburos , EP Petroecuador, el país cuenta con reservas certificadas y probadas de aproximadamente 1 700 000 MMscf (Millones de pies cúbicos estándar, donde aproximadamente $33\,300\text{ MMscf} = 10^9\text{ m}^3$) de GN, favoreciendo las perspectivas de mantener la comercialización y el consumo de GNL en el país (PETROECUADOR, 2016)

1.1.1.3 Dimensión micro

Hoy en día el consumo de un combustible seguro, amigable con el medio ambiente y de precio accesible para el consumidor asegura el éxito de las actividades industriales. El gas natural es el mejor combustible que pueden usar las industrias que utilizan hornos y calderos en sus procesos productivos; por sus características reemplaza ventajosamente al combustible diésel, evitando emisiones atmosféricas tóxicas y aumentando la vida útil de los equipos.

En la actualidad C.A. Ecuatoriana de Cerámica, utiliza diésel tipo 2 y gas natural licuado como combustible para los siguientes equipos: atomizadores, secaderos y hornos. El presente trabajo se enfoca en la etapa de cocción, la cual se lleva a cabo en un horno continuo de rodillos con quemadores en el bloque superior y bloque inferior, en el que se utiliza diésel industrial tipo 2; las emisiones de diésel (ED) constituyen una mezcla compleja de miles de sustancias orgánicas e inorgánicas en forma de gases y de finas partículas (compuestas por materiales sólidos y líquidos), los cuáles se expulsan al ambiente por chimeneas; la baja calidad y los contaminantes que contiene el diésel industrial afectan al proceso de combustión, generando reacciones internas que gelifican el combustible provocando obstrucción de quemadores y filtros lo que implica un mantenimiento correctivo de todo el sistema de combustión de forma diaria.

El cambio de la matriz energética a nivel de país es uno de los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo, por lo que el presente trabajo es valioso para el país y la para la empresa, ya que se evaluará el uso de un combustible gaseoso en el horno continuo de cocción en la industria cerámica para contribuir la reducción de emisiones atmosféricas y costos de producción a través del ahorro energético.

1.2 Formulación del problema

¿El uso de gas natural en el horno continuo de cocción B&T 3200 para la fabricación de baldosa cerámica, podrá optimizar energética, ambiental y económicamente al proceso?

1.3 Preguntas directrices o específicas de la investigación

¿La etapa de cocción en el proceso de fabricación de baldosa cerámica es un punto crítico de control?

¿La combustión de un combustible gaseoso hace que las emisiones atmosféricas sean tóxicas y que la vida útil de los quemadores se acelere?

¿La etapa de cocción no cuenta con un balance energético?

¿El uso del combustible líquido incrementa el costo de producción de la baldosa cerámica en la etapa de cocción?

1.4 Justificación de la investigación

El Gobierno Nacional del Ecuador, mediante el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 – Toda una Vida, con el eje 2. Economía al servicio de la sociedad y sus objetivos: 4.*Consolidar la sostenibilidad del sistema económico, social y solidario y afianzar la dolarización*, 5.*Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible, de manera redistributiva y solidaria* y 6. *Desarrollar las capacidades productivas y del entorno, para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir Rural* y dentro del objetivo 4 el 4.7. *Incentivar la inversión privada nacional y extranjera de largo plazo, generadora de empleo y transferencia tecnológica, intensiva en componente nacional y con producción limpia*; en sus diversos esquemas, incluyendo mecanismos de asociatividad y alianzas público-privadas, con una regulación previsible y simplificada. (Semplades, 2017); incentiva a las industrias privadas a buscar estrategias que permitan cumplir con los objetivos planteados, otorgando beneficios empresariales; razón por la que el presente estudio es de interés nacional.

La fabricación de productos cerámicos de manera general requiere un gran aporte de energía térmica para realizar los procesos de secado y cocción. En la actualidad, a nivel internacional y principalmente en la industria cerámica de Castellón el combustible mayoritariamente empleado es el gas natural. A nivel nacional todas las grandes empresas que fabrican cerámica consumen Gas Natural y lo utilizan en varias etapas del proceso. La energía eléctrica se consume en todas las etapas del proceso, en mayor medida en las fases de molienda de las materias primas y de conformado de las piezas, sin embargo, su consumo total es muy inferior al de energía térmica.

La etapa de cocción del esmalte y del soporte conjuntamente en los procesos de monococción, consiste en someter a las piezas a un ciclo, durante el cual tiene lugar una serie de transformaciones en la pieza que provocan cambios en su microestructura y les confiere las propiedades finales deseadas. Esta etapa es una de las más importantes del proceso de fabricación, ya que de ella dependen gran parte de las características del producto final; en esta etapa en la actualidad se utiliza como combustible el Diésel tipo 2, el cual es un combustible líquido que durante su proceso de combustión emana gases contaminantes para la atmósfera y además por su alto costo económico incrementa el costo de producción.

Del total del gas natural producido, un 43% es utilizado para producir energía eléctrica y el 57 % se ha utilizado en el sector industrial ya sea en la industria textil o en la fabricación de cerámica (Carvajal, 2013). Al contar con la producción de gas a nivel nacional, la forma de reducir los contaminantes atmosféricos durante la cocción y el costo de producción de la baldosa cerámica es sustituyendo el diésel por un combustible gaseoso Gas Natural el cual es amigable con el medioambiente. Por lo tanto mediante este proyecto que comprende : el diagnóstico inicial, balance de energía de la etapa de cocción, caracterización de fuentes fijas y evaluación económica para la factibilidad de implementación del cambio de combustible, representará un beneficio para la autogestión empresarial en el aspecto económico, un incremento en la responsabilidad social, cumplimiento de normativas técnicas, legales y ambientales.

1.5 Objetivos de la investigación

1.5.1 General

Optimizar la matriz energética del horno continuo de cocción B&T 3200 de C.A. Ecuatoriana de Cerámica.

1.5.2 Específicos

- Realizar el diagnóstico inicial de la etapa de cocción del proceso de fabricación de baldosa cerámica.
- Caracterizar las emisiones atmosféricas generadas en el horno continuo B&T 3200.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el cambio de combustible de diésel a gas natural.
- Determinar el costo de producción de la baldosa cerámica en la etapa de cocción al cambiar la matriz energética del horno continuo B&T 3200.

1.6 Hipótesis.

Con el cambio de la matriz energética del horno continuo de cocción B&T 3200 de C.A. Ecuatoriana de Cerámica, se optimiza energética, ambiental y económicamente el proceso de cocción.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

Considerando que C.A. Ecuatoriana de Cerámica cuenta con 4 líneas de fabricación de baldosa cerámica, por lo tanto todo su consumo de energía térmica en los equipos como atomizadores, secaderos y hornos incrementa notablemente, afectando directamente al coste de producción total de la baldosa cerámica. Así mismo al estar ubicada en el área urbana de la ciudad cerca de Instituciones Educativas y conjuntos habitacionales; debe cumplir con la legislación ambiental vigente en temas de calidad de aire; desde el año 2014 la Alta Dirección decidió instalar la Planta de Almacenamiento y Regasificación de gas natural licuado (GNL), con miras a utilizar al 100% en todos los equipos que requiera generar energía térmica. Se cuenta con dos tanques de almacenamiento de 200 m³ cada uno para abastecer a toda la planta industrial. Actualmente el material combustible utilizado en el horno B&T 3200 es el diésel tipo 2, combustible líquido que contiene impurezas, las cuales afectan directamente en el mantenimiento de los quemadores e incrementa la generación de humos contaminantes para el medio ambiente.

Los artículos encontrados en la bibliografía que se centran en el análisis energético del proceso de cocción de composiciones cerámicas, nos dan bases para continuar con estudios en la etapa de cocción con composiciones propias de las empresas; Las transformaciones físico – químicas que ocurren en las composiciones cerámicas durante la etapa de cocción se estudiaron ya que determinan la calidad del producto final, sin embargo, la información de esto dependerá del tipo de cerámica a realizar. Los resultados obtenidos y la metodología desarrollada permite calcular la energía involucrada en la cocción de composiciones cerámicas tradicionales y sirve para el análisis de otras composiciones cerámicas (Ferrer S. , 2016)

Existen modelos matemáticos, basado en el método zonal, que permite simular la transferencia de energía en la cocción de baldosas cerámicas en hornos de rodillos, en el cual se puede calcular las temperaturas de las zonas, flujos de energía para cada zona, regulación de los quemadores; variables que determinan el consumo de energía térmica que genera en el proceso de cocción. (Vidal, 2017); lo que sustenta al estudio actual.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 *Proceso de fabricación de productos cerámicos tradicionales.*

La industria cerámica, se encarga de la fabricación de productos cerámicos tradicionales, produce una gran variedad de productos para diferentes aplicaciones. Existen varias clasificaciones de dichos productos, según su proceso de fabricación, características, funcionalidades, etc.

El proceso general de fabricación de productos cerámicos tradicionales es similar para todos los tipos de productos y consiste en diferentes etapas, que difieren en función del producto elaborado. Las principales etapas de producción se describen brevemente a continuación.

- **Preparación de las materias primas.** Se realiza una selección de las materias primas a utilizar (principalmente arcillas, carbonatos, cuarzo, etc.), las cuales se dosifican en la proporción adecuada para obtener un producto final con las propiedades deseadas. Esta mezcla se realiza con mayor o menor cantidad de agua, y va acompañada de una molienda vía seca o vía húmeda, para obtener la distribución de tamaños de partícula adecuada. En el caso específico de la presente investigación, la preparación de materias primas se realiza mayoritariamente por *molienda vía húmeda*, para después obtener un sólido granulado al secar la suspensión obtenida mediante un proceso de secado por atomización.

- **Conformado de las piezas.** Una vez preparadas las materias primas, los procedimientos de conformado más habituales son el prensado, la extrusión y el colado. La cantidad de agua presente en la mezcla de materias primas dependerá del método de conformado que se vaya a utilizar. En la presente investigación las piezas se conforman por prensado en semiseco, la mezcla de materias primas es un sólido granulado, con una humedad que ronda el 6 %.

- **Secado.** Las piezas conformadas (denominada biscocho), una vez moldeadas se someten a un ciclo de secado para eliminar el agua que contienen. El objetivo es obtener piezas con una mayor resistencia mecánica, que sean capaces de soportar sin romperse los procesos posteriores, si es el caso, de esmaltado y decoración. Además en procesos de monococción el esmaltado debe realizarse sobre piezas calientes para eliminar el agua de las aplicaciones por evaporación.

- **Esmaltado y decoración.** Una vez secas, excepto en productos no esmaltados, se someten a un proceso de esmaltado y decoración. Este proceso está formado por diversas aplicaciones, que dependen del producto y de las propiedades superficiales finales (estéticas, ópticas, mecánicas, etc.) deseadas.

• **Cocción.** La etapa final siempre es una etapa de cocción en la que el producto crudo se somete a un ciclo térmico en el que se alcanzan temperaturas entre 850 y 1200 °C, dependiendo del producto fabricado. Esta etapa es la que confiere a la pieza sus propiedades técnicas (absorción de agua, resistencia mecánica, etc.) y estéticas (coloración, brillo, planaridad, etc.) finales. Cuando la pieza cerámica se cuece a la vez que el esmalte que la cubre, se habla de un proceso de monococción; cuando se realiza una primera cocción de la pieza cerámica, y una segunda tras la aplicación del esmalte u otra decoración, al proceso se le denomina bicocción. (Ferrer S. , 2016)

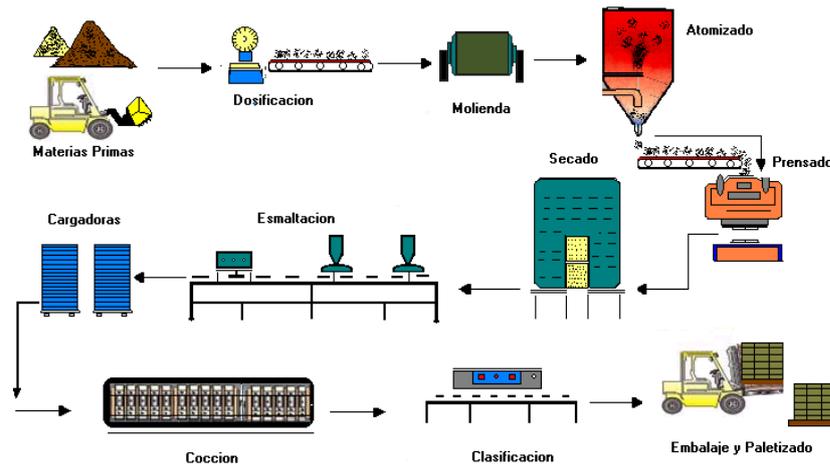


Figura 1-2: Proceso de fabricación de productos cerámicos tradicionales.

Fuente: C.A. Ecuatoriana de Cerámica, 2019

El proceso de fabricación de baldosas cerámicas requiere un elevado consumo de energía, principalmente de energía térmica. Todas las fases del proceso de fabricación consumen energía eléctrica. El proceso de fabricación que se lleva a cabo en la empresa es vía húmeda, por lo que se requiere consumo de energía térmica en tres etapas: secado de las suspensiones cerámicas por atomización, secado de las piezas conformadas y cocción de las baldosas. En la figura 1-2 se muestra esquemáticamente, el proceso de fabricación de productos cerámicos tradicionales.

2.2.2 Materias primas utilizadas en la industria cerámica

Indistintamente del producto cerámico a fabricar, se parte de una composición cerámica que debe poseer una adecuada composición química y mineralógica, para que las transformaciones físico-químicas que tienen lugar en la etapa de cocción den al producto terminado las propiedades finales buscadas.

Las materias primas más utilizadas son minerales o acumulaciones de rocas, que de acuerdo con su comportamiento con el agua, se dividen tradicionalmente en materias primas plásticas y no plásticas. Las primeras son esencialmente arcillas. Las no plásticas pueden tener una función de

desgrasantes o son elementos fundentes (Galán & Aparicio, 2019). Los caolines y arcillas son materias primas plásticas y el cuarzo y el feldespato son no plásticos.

C.A. Ecuatoriana de cerámica, se abastece de arcillas y feldespatos que se encuentran en la región sierra y oriente del País. Todo llega por medio terrestre y es almacenado en la planta industrial bajo condiciones adecuadas. Las arcillas con las que se cuenta son: Sanabanán, Ximena y San Ramón y los feldespatos: Sanabanán, Sanabanán AA, Lotto, Marcabeli B; previo el ingreso a la planta se realiza estudios de composición mineralógico y de control de calidad, para asegurar que los componentes que se requiere para la formulación favorezca las características deseadas del producto final.

La empresa fabrica varios tipos de baldosas cerámicas de acuerdo al tipo de soporte que define la funcionalidad del producto (piso o pared), los cuales se subdividen por formatos, familias, modelos. Las líneas de producción de acuerdo al tipo de soporte; se clasifican de la siguiente manera

- Productos momoquema: Formatos de baldosas esmaltadas para pisos
- Productos monoporosa: Formatos de baldosas esmaltadas para pared
- Productos porcelanato: Formatos de baldosas esmaltadas de porcelanato.

En la Tabla 1-2, se detallan los intervalos de composición (en % en peso) de las mezclas de materias primas empleadas en la fabricación de los soportes de los tres tipos principales de pastas: monoporosa, monoquema y porcelanato.

Tabla 1-2: Composición de las materias primas empleadas en la fabricación de los soportes de baldosas cerámicas (en % en peso).

BALDOSA SEGÚN EL TIPO DE SOPORTE	COMPOSICIÓN (% EN PESO)				
	Arcillas	Feldespato	Calcita	Cuarzo	Caolín
Monoporosa	50 – 65	0 – 15	12 - 15	15 - 30	0-10
Monoquema	50 – 65	30 – 40			
Porcelanato	35 – 40	40 – 50			0 – 10

Fuente: (Ferrer S. , 2016)
Realizado por: Verónica Carrera, 2019

2.2.3 Consumo de energía en la fabricación de baldosa cerámica

La fabricación de productos cerámicos requiere un gran aporte de energía térmica para realizar los procesos de secado y cocción. En la actualidad el combustible mayoritariamente empleado en la industria es el diésel, sin embargo, desde el año 2014 la industria cerámica del Ecuador ha optado por el gas natural. La energía eléctrica se consume en todas las etapas del proceso de fabricación de cerámica, en mayor cantidad en la fase de molienda de materias primas y conformado de las piezas, de todas maneras su consumo global es muy inferior al de la energía térmica.

Según (Monfort, y otros, 2010), se muestra la distribución media de los consumos de energía térmica y eléctrica en una instalación de fabricación de baldosa cerámica por monococción; resultados importantes que sirven como base del presente estudio.

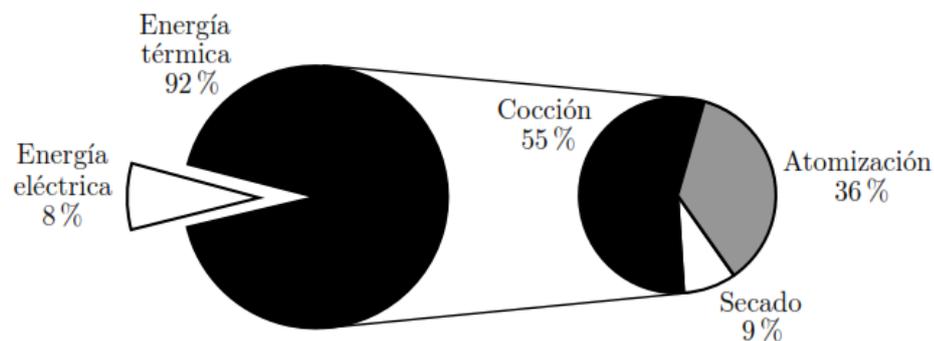


Figura 2-2: Distribución del consumo energético de energía en la fabricación de baldosas cerámicas.

Fuente: (Monfort, y otros, 2010)

El poder calorífico superior PCS del combustible incorpora el calor de condensación del vapor de agua generado en la combustión. La condensación de vapor de agua en el interior de los equipos empleados para el secado y cocción de productos causaría serios problemas, no es realista considerar que la energía liberada en la condensación es aprovechable (Vidal, 2017). Por este motivo, los consumos energéticos para el presente trabajo se expresarán en base al poder calorífico inferior PCI, que excluye el calor de condensación del agua, por lo tanto, cuantifica el calor útil aportado.

2.2.4 Calor de reacción en composiciones cerámicas

A la cantidad de energía en forma de calor que se pone en juego cuando se verifica una reacción química, se le denomina calor de reacción, o sea, la energía cedida o absorbida en forma de calor por el sistema durante la evolución de la reacción química desde el estado inicial (reactivos) al estado final (productos). En una reacción química desarrollada a presión constante, como en el sistema estudiado, la variación de entalpía que acompaña a su realización coincide con la energía puesta en juego en forma de calor, es decir, con el calor de reacción (Tejerina, 1977)

2.2.5 Horno de cocción

La configuración de los hornos monoestrato cambia de acuerdo con las características y las exigencias del producto que se debe someter a cocción. Dichas diferencias se evidencian en el ancho de la abertura de carga, en el sistema de control del aire (fijo o modulado), en el tipo de rodillos utilizados (en base a la temperatura máxima de ejercicio), en el grupo de arrastre y en el número de módulos que componen todas las secciones del horno

El producto se mueve dentro del horno pasando por secciones caracterizadas por temperaturas diferentes y se somete a un tratamiento térmico que lleva el nombre de “cocción”. El diagrama tiempo- temperatura se llama “curva de cocción”, mientras que el tiempo empleado por el material para cruzar el horno se llama “ciclo”.

De acuerdo al (SITI - B&T GROUP S.p.A a Socio Unico, 2010); la estructura modular del horno dividen las distintas etapas del tratamiento térmico de los azulejos cerámicos, de acuerdo al siguiente cuadro.



Tabla 2-2: Estructura modular del horno B&T 3200

Sección	Nombre
A	Chimenea – Secado
B	Precalentamiento
C	Cocción
D	Enfriamiento rápido
E	Enfriamiento indirecto
F	Enfriamiento lento
G	Enfriamiento final
MC	Máquina para cargar el material en el horno
MS	Máquina para descargar el material del horno

Fuente: Manual de uso y mantenimiento Horno de rodillos monoestrato

Realizado por: Verónica Carrera, 2019.

2.2.5.1 Descripción de los módulos

Estructura.- El horno de rodillos está formado por una estructura modular metálica que sostiene la solera de la mampostería, las paredes y la bóveda formada por material refractario aislante y fibra cerámica.

Zona del secado y precalentamiento del material.- La estructura general del horno prevé un primer segmento llamado “chimenea”, aislado con fibra cerámica y adecuado para soportar temperaturas incluidas entre 200 – 400 °C. Estos 8 módulos están desprovistos de quemadores y reciben el calor mediante los productos de combustión provenientes de la sección de precalentamiento y de cocción por medio del ventilador de aspiración de humos. La función de esa sección consiste en completar el secado de las materias primas, eliminando la humedad residual después del ciclo de secado, esmaltado y almacenamiento.

Zona de precocción.- Conocida también como precalentamiento se caracteriza por una estructura aislante en condiciones de soportar temperaturas elevadas. El material pasa de una temperatura de 300 – 400°C a unos 900°C. En estos 21 módulos, se dan los procesos químico-físicos: eliminación del agua de constitución, transformación del cuarzo, transformación de las sustancias orgánicas y descomposición de los carbonatos; en esta sección se tiene quemadores colocados debajo del plano de rodillos, permitiendo atrasar la etapa de fusión del esmalte y prolongar en el tiempo la permeabilidad del mismo a los gases que se desarrollan dentro.



Figura 3-2: Módulos de pre-cocción

Fuente: (C.A. Ecuatoriana de Cerámica, 2019)

Zona de cocción.- Está equipada con un sistema de aislamiento especial, apto para las elevadas temperaturas de ejercicio. Los quemadores están colocados arriba y abajo del plano de los rodillos y la división de los mismos en pequeños grupos auto-regulables permite obtener curvas de cocción elaboradas. Son 6 los módulos de esta zona y la temperatura se controla mediante termorreguladores.



Figura 4-2: Módulos de cocción.

Fuente: (C.A. Ecuatoriana de Cerámica, 2019)

Zona de enfriamiento final.- Estas secciones han sido proyectadas para enfriar el material que sale de la zona de cocción respetando la curva crítica (temperatura – tiempo) de cada producto, por esto el horno está equipado de tal forma que se pueda autorregular la introducción del aire frío emitido por los ventiladores.

- Enfriamiento rápido: En esta zona que tiene 3 módulos, el producto pasa rápidamente de la temperatura de cocción a unos 600°C, esta zona no dispone de quemadores, excepto la última parte cerca de la salida del horno, que cuenta con 2 quemadores situados únicamente debajo del plano de rodillos.
- Enfriamiento con intercambiadores: En esta zona, que tiene 11 módulos, las temperaturas están incluidas entre los 400 y los 600 °C, y el nivel de aislamiento es igual al de la zona de pre-horno. El aire caliente se recupera para utilizar en otros procesos de la planta.
- Enfriamiento final cuenta con 10 módulos y es a base de soplado de aire frío y aspiración del mismo: Las estructuras están aisladas con una sola capa de paneles, es esta zona se enfría el material lo que más se pueda, las temperatura internas están incluidas entre 400 y 100 °C.



Figura 5-2: Módulos de enfriamiento.

Fuente: (C.A. Ecuatoriana de Cerámica, 2019)

Es importante indicar que el horno B&T 3200 tiene un total de 60 módulos, cada módulo tiene una longitud de 2,2 m; el conjunto de módulos de una misma área se denomina zona.

2.2.5.2 Material refractario

- Ladrillo refractario: Está compuesto generalmente por Sílice (SiO_2), Alúmina (Al_2O_3), Óxido de Hierro (Fe_2O_3), óxido de Titanio (TiO_2), y otros óxidos, en cantidades mayores a menores respectivamente. Este material resiste los choques térmicos, son químicamente inertes, presentan una baja conductividad térmica y un bajo coeficiente de dilatación.
- Fibra Cerámica: Los filamentos de Fibra Cerámica son fibras de silica de alúmina que contienen una adición del 15% de fibras orgánicas que actúan como soporte de ésta, para aplicaciones de aislamiento térmico. Tiene baja conductividad térmica, buena resistencia al choque térmico y bajo almacenamiento de calor.

2.2.6 Importancia de la etapa de cocción.

Una de las etapas más importante en el elaboración de baldosa cerámica es sin duda el proceso de la cocción, porque es aquí donde surgen las características del producto cerámico, bien sea de resistencia mecánica, a los agentes químicos, al fuego, dureza, facilidad de limpieza, brillo, entre otros.

En un proceso complejo que se lo hace en un horno continuo monoestrado de rodillos que utiliza diésel como fuente de energía térmica; consiste en someter a las piezas a un ciclo térmico

controlado durante el cual se da una serie de transformaciones físico-químicas de manera permanente en el material, modificando su micro estructura y otorgándole propiedades finales.

En la figura 6-2 se muestra un diagrama de Sankey del balance de energía en un horno completo, realizado por (Ferrer S. , 2016), en el que se determina la energía aportada y disipada, representado de manera esquemática el aporte porcentual de cada una de las corrientes que intervienen en el balance de energía al horno.

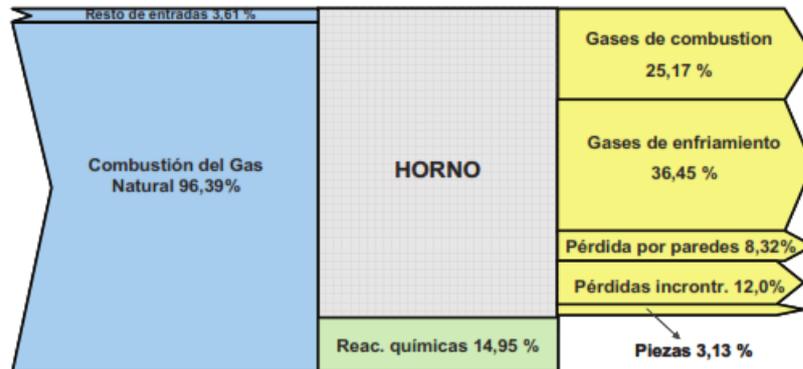


Figura 6-2: Diagrama de Sankey del balance de energía en el horno completo

Fuente: (Ferrer S. , 2016)

En los datos expuestos por Ferrer, se observa que un 61,62% de la energía aportada al proceso de cocción se pierde a través de las chimeneas (de humos de combustión y de gases de enfriamiento), y por pérdidas por paredes, fugas y piezas un 23,45 %. Datos que se toman como referencia para el presente estudio.

Considerando que durante la cocción de las piezas cerámicas, éstas experimentan reacciones químicas, los gases procedentes de la chimenea de humos poseen contaminantes, ya que contienen los productos derivados de la combustión del diésel y de las reacciones químicas del material producidas durante el proceso de cocción.

Los fenómenos que se producen durante la cocción (reacciones físico - químicas), deben tener lugar de manera gradual y controlada porque de lo contrario pueden causar defectos permanentes en el producto como roturas, fisuras, choque térmico, falta de brillo, baja resistencia . (Monzó, M; J.E, Enrique; De la Torre, J, 1989). Por eso es necesario establecer la variación de la temperatura con respecto al tiempo.

Desde el punto de vista energético, las transformaciones que sufre el material son tanto exotérmicas como endotérmicas. En la tabla 3-2 se muestra un resumen de las principales transformaciones que se dan en el proceso de cocción.

Tabla 3-2: Principales transformaciones que tienen lugar durante el ciclo de cocción.

Temperatura	Transformaciones	Naturaleza
Hasta 150 °C	Eliminación del agua libre (humedad)	Endotérmica
150 – 250 °C	Eliminación del agua ligada a estructuras arcillosas Descomposición de hidróxidos (de hierro y aluminio) fundamentalmente.	Endotérmica Endotérmica
350 – 650 °C	Eliminación del agua de constitución Deshidroxilación del mineral arcilloso	Endotérmica
400 – 600 °C	Combustión de materia orgánica	Exotérmica
573 °C	Transformación alotrópica del cuarzo (γ - β cuarzo)	Endotérmica
700 – 800 °C	Inicio de la fusión de los álcalis y óxidos de hierro	Endotérmica
700 – 900 °C	Descomposición de carbonatos (magnesita, dolomita y calcita fundamentalmente). Oxidación del carbón (tipo grafito)	Endotérmica Exotérmica
900 – 1000 °C	Inicio de la fusión de plagioclasas Cristalización de fases cálcicas Formación de silicatos y silicoaluminatos	Endotérmica Exotérmica
Hasta 1200 °C	Formación de fase vítrea con reducción de tamaño y porosidad	Endotérmica

Fuente: (Barba, y otros, 2002)

Realizado por: Verónica Carrera, 2019

La forma de la curva de cocción (temperatura en función del tiempo) depende fundamentalmente de la composición del soporte del producto que se fabrica y si son productos esmaltados dependen de la naturaleza del esmalte. Sin embargo, toda curva de cocción de cerámica tradicional tiene tres fases: calentamiento, cocción y enfriamiento. (Ferrer S. , 2016). A continuación en el Gráfica Figura 7-2, se resume las transformaciones físico-químicas más importantes que tienen lugar durante el tratamiento térmico del producto y los rangos de temperatura donde ocurren.

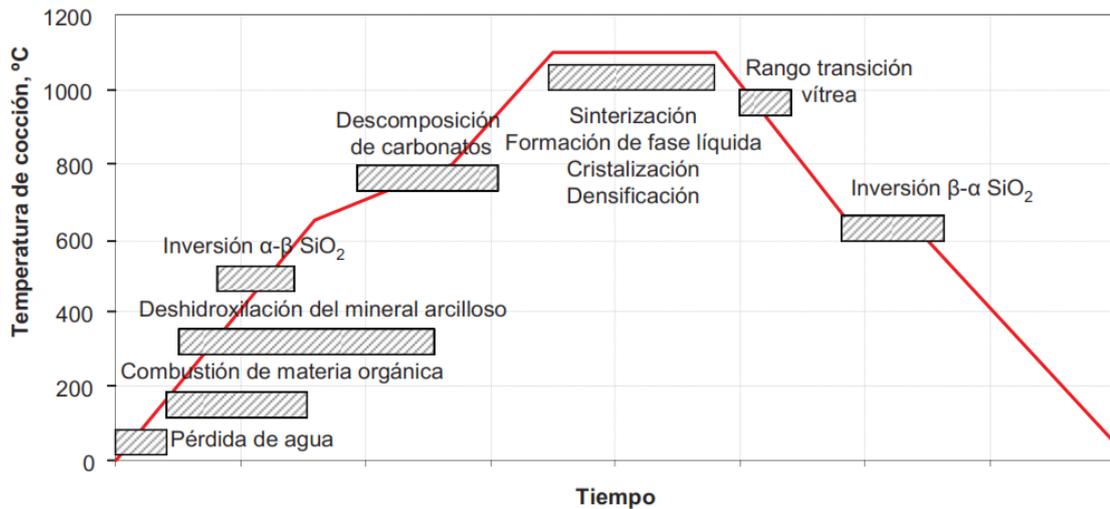


Figura 7-2: Ejemplo de una curva típica de cocción de composiciones cerámicas tradicionales, con las transformaciones físico-químicas que tienen lugar.

Fuente: (Ferrer S. , 2016)

2.2.7 Balance de energía zona de cocción.

Para determinar el rendimiento energético de la operación de cocción a nivel industrial se considera esencial conocer el calor de reacción, pérdidas de calor, para lo que existen diferentes metodologías de laboratorio basadas en el uso de equipos de calorimetría diferencial. Sin embargo, se considera de gran interés establecer una metodología aplicable a cerámicas tradicionales que pueda ser utilizada a nivel industrial con la información normalmente disponible (análisis químicos y mineralógicos de las composiciones cerámicas). (Ferrer S. , 2016)

Los análisis energéticos de hornos de cocción de baldosas cerámicas disponibles o publicados están basados en el primer principio de la termodinámica, y no tienen en cuenta la calidad ni degradación de la energía durante su transformación. Para el presente trabajo el sistema que se considera para realizar el balance de energía es la zona de cocción , que representa el tramo del horno desde el precalentamiento hasta la cocción propiamente dicha . En la figura 8-2 se puede observar las entradas y salidas de la zona.

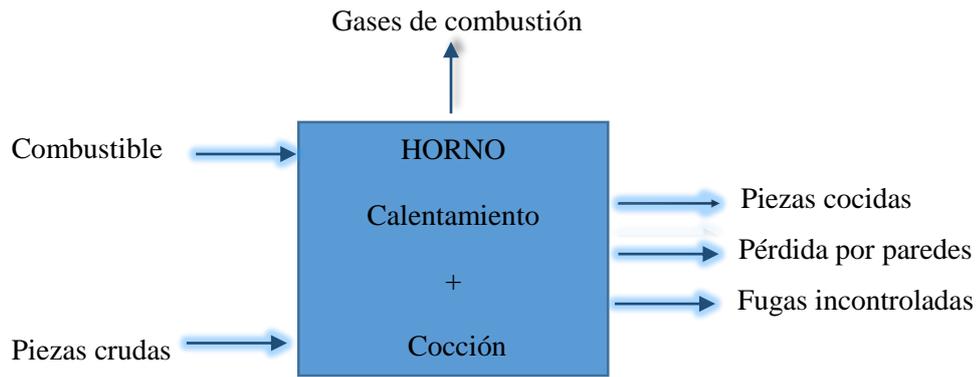


Figura 8-2: Esquema de las partes consideradas en la zona para el balance de energía

Fuente: Realizado por: Verónica Carrera, 2019

2.2.8 Estudio técnico.

El objetivo del estudio técnico consiste en analizar y proponer diferentes alternativas de proyecto para producir el bien que se desea, verificando la factibilidad técnica de cada una de las alternativas. A partir del mismo se determinarán los costos de inversión requeridos, y los costos de operación que intervienen en el flujo de caja que se realiza en el estudio económico-financiero. Este incluye: tamaño del proyecto, localización (Fisher & Espejo, 2013)

2.2.8.1 Tamaño del proyecto.

La capacidad de un proyecto puede referirse a la capacidad teórica de diseño, a su capacidad de producción normal o a su capacidad máxima. Para ello se tienen en cuenta los siguientes elementos (Navarro, 2013)

La primera se refiere al volumen de producción que bajo condiciones técnicas óptimas se alcanza a un costo unitario mínimo y la capacidad de producción normal es la que bajo las condiciones de producción que se estimen registrarán durante el mayor tiempo a lo largo del período considerado al costo unitario mínimo y por último la capacidad máxima se refiere a la mayor producción que se puede obtener sometiendo los equipos al máximo esfuerzo, sin tener en cuenta los costos de producción (Mongrut, S; Alberti, F; Fuenzalida, D; & Akamine, M, 2014).

2.2.9 Estudio económico-financiero.

El estudio económico-financiero de un proyecto, hecho de acuerdo con criterios que comparan flujos de beneficios y costos, permite determinar si conviene realizar un proyecto, o sea si es o no rentable y si siendo conveniente es oportuno ejecutarlo en ese momento o cabe postergar su inicio.

En presencia de varias alternativas de inversión, la evaluación es un medio útil para fijar un orden de prioridad entre ellas, seleccionando los proyectos más rentables y descartando los que no lo sean (Córdoba, 2014)

2.2.10 Gas natural

Es una mezcla gaseosa de compuestos mayoritariamente metano que también se puede encontrar en solución con el petróleo. Además puede contener pequeñas cantidades de etano, propano y otros hidrocarburos más pesados, también se pueden encontrar trazas de nitrógeno, bióxido de carbono, ácidos sulfhídrico y agua. (Aguilar, 2013)

En general, el gas natural es el combustible óptimo para utilizar en industrias que emplean hornos y calderas en los procesos productivos, pues por sus características caloríficas, reemplaza satisfactoriamente a los demás combustibles.

El gas natural produce una mejor combustión, gracias a que al estar en estado molecular, sus componentes reaccionan de forma más completa con las moléculas de oxígeno. Se produce una combustión más eficiente porque requiere menos exceso de aire en el quemador, lo que, a su vez, produce menos CO₂ y cero partículas. Lo anterior sucede debido a que los quemadores de gas natural no requieren de vapor, como sí lo requieren los combustibles líquidos, y esto no solo evita el costo de demanda de vapor o electricidad para comprimir el aire, sino que resulta ventajoso para el cumplimiento de normas sobre los límites máximos permisibles de emisiones de gas invernadero y partículas en suspensión que pueden endurecerse en un futuro no muy lejano. Otra ventaja la constituye el hecho de que al no tener presencia de compuestos de azufre altamente corrosivos (esto es una combustión limpia), resulta menos agresivo con las calderas, lo que se traduce en menores paradas y costos de mantenimiento por ductos corroídos o por limpieza. (Rangel & Portilla, 2016)

La industria cementera, por su parte, utiliza en sus procesos hornos que alargan su vida útil con el gas, puesto que no se requiere de un mantenimiento continuo. (Kozulk, 2004)

El aprovechamiento de la energía se hace más eficiente, pues al producir menos depósitos de hollín en los tubos y menos productos no quemados en la combustión, las pérdidas de energía por chimenea son menores y se logra una mayor eficiencia térmica en la caldera (Chalco, 2005)

Por último todas las industrias que utilicen gas natural tienen la ventaja de la cogeneración, que no es más que la producción conjunta de energía eléctrica y calorífica aprovechable. Esta

cogeneración permite cubrir las necesidades energéticas no solo de la planta de producción, sino de todas las instalaciones. Todas estas ventajas permitirán a las empresas que hagan la conversión a gas natural reducir sus costos operativos y de esta manera ser más competitivos. (Longwell, 2002)

El gas natural que almacena la empresa, contiene un 98,52% de gas metano y el resto es propano y butano, y tiene un poder calorífico superior de 38,49 MJ/m³ (EP-PETROECUADOR, 2019).

2.2.10.1 Ventajas del uso del gas natural en los diferentes sectores industriales.

Algunas de las ventajas que presenta el uso del combustible gaseo Gas Natural a nivel industrial son las siguientes.

- Mejor combustión: El gas natural está en estado molecular, por lo tanto sus componentes reaccionan de forma más completa con las moléculas de oxígeno; Los quemadores a gas natural no requieren de vapor, es decir, requiere menos exceso de aire por lo que la combustión es más eficiente .
- Cumplimiento de normativa ambiental: Al ser un combustible limpio se genera menor cantidad de material particulado, CO₂, NO_x, logrando de esta manera estar bajos los límites máximos permisibles de emisiones de gas invernadero y partículas en suspensión .
- Disminución de paradas: Al no contar con la presencia de compuestos de azufre altamente corrosivos, los gases de combustión son menos agresivos con las tuberías, quemadores, chimeneas.

Según (Campodónico, 1999), el aumento de la producción y el consumo de gas natural en todo el mundo, especialmente en los países en desarrollo (China, el Sudeste asiático y América Latina), es una característica de los mercados energéticos. Este crecimiento tiende a consolidarse a mediano y largo plazo por diversos motivos: avance tecnológico, dispersión geográfica de las reservas, menor contaminación del medio ambiente que otros combustibles fósiles.

2.2.11 Gases Efecto Invernadero (GEI)

La huella de carbono de una organización es un término que quiere describir el impacto total que una organización tiene sobre el clima a raíz de la emisión de GEI a la atmósfera. Con el objetivo

de cuantificar dicha huella, debe aplicarse un determinado protocolo de estimación y contabilidad de emisiones de GEI.

Cuando se habla de gases de efecto invernadero (GEI) nos referimos a CO₂ equivalente (CO₂ eq), que incluye los seis gases de efecto invernadero recogidos en el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido de nitrógeno (N₂O), hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarburos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Para calcular las emisiones asociadas se aplica el factor de emisión que corresponda de acuerdo a los siguientes datos: Gas natural (m³) = 2,15 kg CO₂/Nm³ de gas natural y Gasoil (litros) = 2,79 kg CO₂/l de gasoil. (Comisión Interdepartamental del cambio climático, 2011).

Las emisiones de GEI asociadas a la actividad en estudio, son emisiones directas, ya que proviene de fuentes que posee o controla la empresa. Es decir, las emisiones de CO₂ producidas el proceso de cocción de porcelanato.

2.2.12 Estudio ambiental

Un aspecto primordial a tener en cuenta para el desarrollo de productos es el cuidado del medio ambiente (Barón Maldonado & Rivera Cadavid, 2014), para ello son especialmente útiles los conceptos, los cuales ayudan a reducir los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida del producto (Navarro, 2013).

De acuerdo al Plan de Manejo Ambiental que tiene la empresa, el control de fuentes fijas se realiza dos veces por año con una empresa certificada por un laboratorio acreditado. Los resultados se evalúan de acuerdo al Acuerdo No. 091 - Límites máximos permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas para actividades hidrocarburíferas, emitido por el Ministerio de Energía y Minas en el año 2006. **Anexo A**

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo y diseño de investigación

Esta investigación es descriptiva, ya que se fundamenta en describir la situación actual de la matriz energética en el horno continuo de cocción en la industria cerámica y en base a ésta buscar un combustible amigable con el medio ambiente beneficiando así a la empresa y a la comunidad cercana. Es decir, parte de un análisis de la situación actual, posteriormente busca caracterizar las emisiones atmosféricas y optimizar el cambio de matriz energética.

3.2 Métodos de investigación

Se consideró al método sistémico, ya que está dirigido a modelar el objeto mediante la determinación de sus componentes, es decir, la optimización del cambio de la matriz energética en el horno continuo de cocción, sus beneficios y factibilidad para aplicar.

También se utilizó el método inductivo ya que se va a considerar el proceso actual para llegar a definir si el cambio es ventajoso o no. Todo tipo de investigación se basa en enunciados singulares como la descripción de los resultados observados para plantear hipótesis y teoría que apoya el enfoque cualitativo de la investigación. Para aplicar estrategias de producción más limpia se basará de acuerdo a lo siguiente: Observación y registro de hechos, Análisis y clasificación de hechos y Derivación inductiva de una generalización a partir de los hechos.

El método deductivo está implícitamente en esta investigación ya que parte de los datos generales aceptados como valederos así tenemos los parámetros analizados en base a normativa técnico legal vigente y que están fuera de norma, para deducir por medio del razonamiento lógico, varias suposiciones, es decir, que apoya al enfoque cualitativo de la investigación.

Al recopilar datos experimentales para comparar las mediciones de las variables y controlar cualquier cambio por ende se lo hace antes y después del cambio de la matriz energética, estamos trabajando con el Método experimental.

3.3 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación fue cualitativo-cuantitativo, basado en la medición de uno o más atributos del fenómeno descrito.

3.4 Alcance de la investigación

La investigación parte de analizar la situación actual, en relación a la matriz energética del horno continuo de cocción B&T 3200; caracterización de emisiones atmosféricas, balance de energía, costo de producción de la baldosa cerámica para la implementación del cambio.

3.5 Metodología

3.5.1. Balance de energía en la zona de cocción

El sistema estudiado en el presente trabajo, es un horno continuo de cocción de baldosas cerámicas, considerado termodinámicamente como un sistema abierto donde el balance se aplica a un contorno o volumen de control, que se corresponde aproximadamente con las dimensiones físicas del horno. Para la toma de datos experimentales se ha considerado que:

- a) El horno opera en régimen estacionario
- b) Los gases de combustión se comportan como gases ideales.
- c) La producción es de 24 horas
- d) Durante la producción no se presentan paras en el horno
- e) Las temperaturas permanecen constantes.
- f) Se asume que la fórmula del diésel es igual a la del dodecano que se quema con aire húmedo con una humedad relativa de 40%.

Para realizar el balance de energía, se utiliza el programa Matemático para resolver ecuaciones de ingeniería “Engineering Equation Solver” (EES), esta herramienta computacional incorpora una gran cantidad de funciones matemáticas y termo físicas.

A continuación se detalla las variables a considerar en el balance de energía:

Tabla 1-3: Variables consideradas en el balance de energía.

BISCOCHO INICIAL	CANTIDAD	UNIDAD
Humedad	5,00	%
Flujo de alimentación	147268,10	kg/día
Temperatura inicial	45,00	°C
ZONA DE COCCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
Temperatura precalentamiento	1033,00	°C
Temperatura de cocción	1182,00	°C
AIRE	CANTIDAD	UNIDAD
Presión	101,30	kPa
Humedad Relativa	40,00	%
Temperatura de producción	200,00	°C

DIÉSEL (C₁₂H₂₆)	CANTIDAD	UNIDAD
Peso	170230,00	kg/kmol
Densidad	0,832	mg/m ³
Temperatura	2,005	°C
BISCOCHO FINAL	CANTIDAD	UNIDAD
Humedad	0,00	%
Temperatura	95,00	°C

Fuente: C.A. Ecuatoriana de Cerámica
Realizado por: Verónica Carrera, 2019

Los valores de capacidades caloríficas de las sustancias se toman de las tablas termodinámicas de la Termodinámica de Cengel (Cengel & Boles, 2012) y las entalpías de las reacción se toman de la tesis elaborado por (Ferrer S. , 2016).

Para determinar la energía térmica que aporta el combustible diésel en el proceso de cocción del porcelanato, se realiza el balance de energía de la zona de cocción del horno. La fórmula general del balance de energía utilizada es:

$$Q_{\text{COMBUSTIBLE}} = Q_P + Q_F + Q_{\text{BIS}} + Q_{\text{rx}}$$

Dónde:

Q_P = calor de pérdidas por las paredes: Se refiere a las pérdidas de energía a través de las superficies calientes del horno que se producen por convección y por radiación.

Q_F = calor de fugas incontroladas Las fugas de energía incontroladas hace referencia a las salidas de energía que no se pueden cuantificar de manera sencilla como: pérdidas que se producen de la entrada y salida del horno, de orificios y fisuras, de la superficie de conducciones, ventiladores, quemadores, entre otros.

Q_{BIS} = calor del biscocho; el calor que se necesita para eliminar la humedad y agua adsorbida, y pérdidas ligadas a la estructura arcillosa, proceso que se da en el rango de temperatura de 40 – 325 °C, es decir, en la etapa de precalentamiento.

Q_{rx} = calor de reacción; se refiere a la energía que se requiere para que se den las transformaciones físico – químicas desde los 325 hasta los 1190 °C, transformaciones como: deshidroxilación del material arcilloso, transformación del cuarzo, cristalización y sinterización.

3.5.2. Validación de la simulación

Se realiza el balance de energía en la etapa de calentamiento y cocción del horno mediante el cual se calcula el calor necesario para la eliminación de agua, las reacciones propias del proceso y las pérdidas que se tiene en la máquina, con este dato se puede obtener el consumo de combustible teórico para cumplir con esta operación tomando una eficiencia del 100% de los quemadores. Posterior a esto para la validación de la simulación se procede a calcular estos datos con el consumo real de diésel que se tiene en la empresa, para una producción del mismo producto y procurando que los datos se tomen en producciones donde no se tenga paradas, para establecer las condiciones de estacionalidad del proceso.

Validado las ecuaciones del balance se calcula el flujo másico de consumo de combustible tanto para el diésel como para el gas natural y se procede a realizar la comparación de costos, tomando en consideración las paradas por los mantenimientos preventivos.

3.5.3. Cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero GEI

Para la estimación del cálculo de las emisiones de GEI asociadas al consumo de energía en instalaciones fijas, nos basamos en la Guía práctica para el cálculo de emisiones de efecto invernadero (GEI) del año 2011 y se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Emisiones de } CO_2 = \text{consumo energético} * \text{factor de emisión}$$

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis del diagnóstico inicial de la etapa de cocción.

4.1.1 Análisis del proceso de cocción

Para el presente trabajo se toma en cuenta el proceso de fabricación del porcelanato ya que es el de mayor producción y ventas, además que por sus características es un producto versátil que se puede utilizar para suelos interiores en edificación residencial, comercial e incluso industrial; el porcelanato que es una cerámica tipo gres porcelánico presenta un proceso de monococción y su composición química es estable. Basados en el análisis mineralógico de la mezcla cerámica, el gres porcelánico tiene un 38% de feldespatos, un 60 % de arcillas y un 2% de material defloculante, como se indica en la Tabla 1-4. El biscocho con engobe y esmalte que ingresa al proceso de cocción, tienen un porcentaje de humedad de 4.7 al 5% , el cual se retira en la etapa de precalentamiento; al terminar el ciclo de cocción el producto tiene 0 % de humedad y con propiedades mecánicas adquiridas debido a la reacción de sus componentes a altas temperaturas.

Tabla 1-4: Composición de la baldosa cerámica. Porcelanato

MATERIA PRIMA	PORCENTAJE (%)		
	BISCOCHO	ENGOBE	ESMALTE
Feldespatos	38		15
Arcilla	60		
Defloculante	2		
Fritas		50	60
Óxidos		50	25
TOTAL	100	100	100

Fuente: C.A. Ecuatoriana de Cerámica

Realizado por: Verónica Carrera, 2019

El proceso de cocción, se realiza en un horno de rodillos monoestrato, el cual es equipado con un canal abierto provisto de un conjunto de rodillos que sirven para transportar el material. Por lo tanto, el horno cuenta con una sección de carga del material (o entrada) y una sección de descarga. Tiene las siguientes dimensiones: longitud de 133,2 m, ancho de 3,2 m y un ancho útil, es decir, el espacio por donde se puede movilizar las piezas de cerámica de 2,95 m; está

constituido por unidades constructivas, llamadas comúnmente módulos, de 2,20 metros cada una. El plano formado por los rodillos, sobre los que circulan las piezas, dividen el horno en dos cámaras, superior e inferior. En la figura 1-4 puede verse un esquema del horno estudiado.

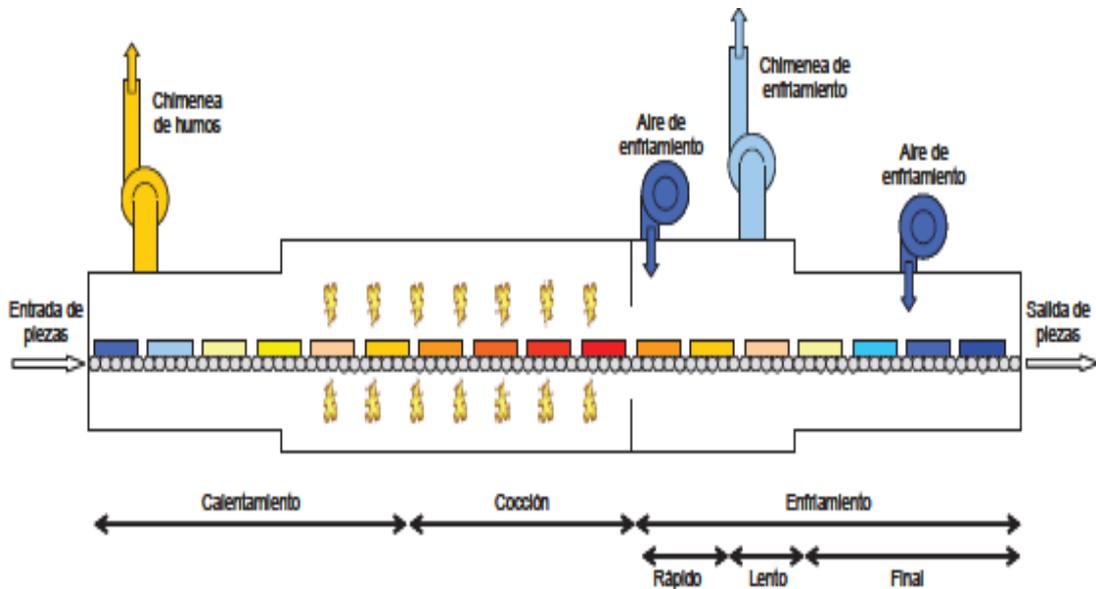


Figura 1-4: Esquema de un horno monoestrato de rodillos

Fuente: (Ferrer S. , 2016).

El material refractario aislante utilizado en el horno, es ladrillo refractario y fibra cerámica, el cual se coloca en las paredes laterales, parte superior e inferior del horno. En las zona de precalentamiento y cocción al tener temperaturas superiores a los 1000°C, el espesor del material aislante aumenta con el fin de evitar fugas de calor. Con el fin de esquematizar el material refractario en el horno, se dibuja una sección del horno, el cual se muestra en la Figura 2-4. Esquema del material refractario en una sección del horno.

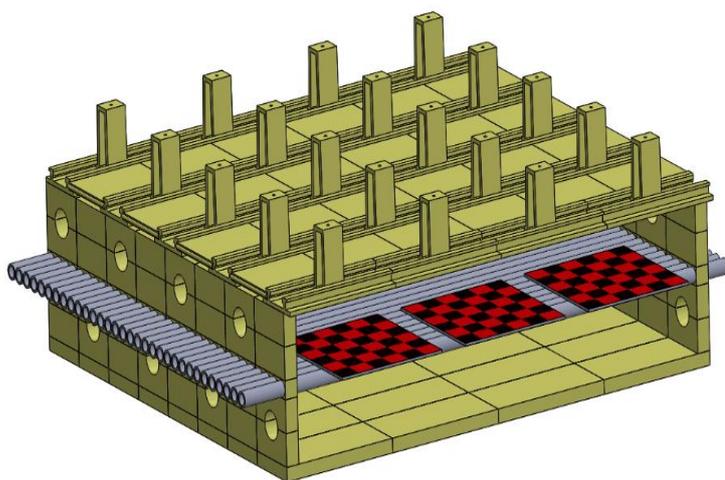


Figura 2-4: Esquema del material refractario en una sección del horno.

Fuente: C.A. Ecuatoriana de Cerámica, 2019

El aporte de calor (energía térmica) se da mediante la combustión de diésel tipo 2 en un total de 176 quemadores, este aporte energético se da en ciclos de cocción de 59 minutos para el gres porcelánico. La zona que se considera para realizar el balance de energía son las secciones: calentamiento y cocción, lugar donde se da la combustión del diésel y las transformaciones físico-químicas del material.

Uno de los problemas que se deriva por el uso de un combustible líquido en la etapa de cocción es el mantenimiento diario de los quemadores, que se genera debido a las impurezas que tiene el combustible ocasionando el taponamiento del sistema de pulverizado de combustible, los cuales se deben limpiar tres veces por turno de 8 horas de trabajo, con una duración estimada de 5 minutos por limpieza de un quemador. En la Tabla 2-4, se presenta la diferencia entre la instalación de los quemadores para combustibles gaseosos y líquidos.

Tabla 2-4: Partes principales de los quemadores.

PARTE	QUEMADOR A DIÉSEL	QUEMADOR A GAS	OBSERVACIÓN
Electrodo	X	X	Genera la chispa para el encendido
Mirilla	X	X	Permite visualizar la llama
Fotocélula	X	X	Es la seguridad que permite el paso de combustible si detecta llama.
Tubo	X	X	En el quemador a diésel el tubo sirve de soporte, en el quemador a gas el tubo conduce el gas.

Aire de combustión	X	X	Los dos quemadores tienen entrada de aire de combustión.
Boquilla	X		La boquilla pulveriza el combustible
Aire de Atomización	X		El aire de atomización o pulverización sirve para atomizar los líquidos.

Fuente: C.A. Ecuatoriana de Cerámica
Realizado por: Verónica Carrera, 2019

El Diésel tipo 2 es distribuido por la empresa PRIMAX que se entrega a la empresa en tanqueros y certificación de calidad. A continuación se indica el consumo mensual de diésel tipo 2 en el horno B&T 3200 para los últimos meses que está en función de la producción de material.

Tabla 3-4: Consumo diésel y producción mensual para el Horno B&T 3200

AÑO	MES	DIÉSEL (gal)	PRODUCCIÓN (m²)	PRODUCCIÓN KG
2019	MAYO	60671,00	189027,00	3937432,41
	ABRIL	64230,00	185864,00	3871547,12
	MARZO	59057,00	156162,00	3252854,46
	FEBRERO	58955,00	173083,00	3605318,89
	ENERO	65331,00	184.415,00	3841364,45
2018	DICIEMBRE	33268,00	73.047,00	1521569,01
	NOVIEMBRE	15298,00	42.997,00	895627,51
	OCTUBRE	65335,00	181.243,00	3775291,69

Fuente: C.A. Ecuatoriana de Cerámica
Realizado por: Verónica Carrera, 2019

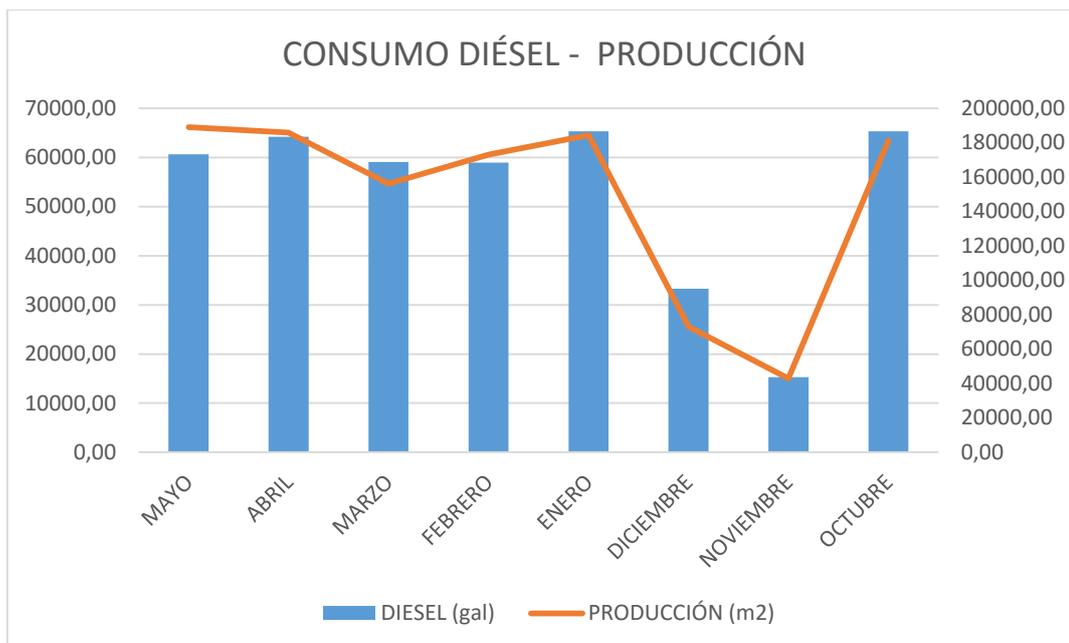


Figura 3-4: Gráfico de consumo de combustible líquido para el Horno B&T 3200

Fuente: C.A. Ecuatoriana de Cerámica

La variable consumo de diésel y m^2 producidos son directamente proporcionales; existen meses (diciembre y noviembre) del año 2018, en los que la producción disminuye debido a la baja en ventas evidenciando un bajo consumo de combustible.

4.2 Análisis de la caracterización de las emisiones atmosféricas generadas por el horno continuo B&T 3200.

C.A. Ecuatoriana de Cerámica cuenta con Licencia Ambiental desde el año 2014 por lo tanto cumple con todos los requerimientos establecidos en las diferentes leyes y reglamentos en materia de Ambiente; los monitores de fuentes fijas se realizan dos veces al año, en la siguiente tabla se resumen los resultados de contaminantes presentes en el horno B&T3200 al trabajar con diésel.

Tabla 4-4: Caracterizaciones gaseosas HORNO B&T 3200 (diésel)

2º semestre 2018

Parámetro	Unidad	Valor
Flujo de gas seco	m ³ /h	15482,6
Temperatura	°C	221,8
Oxígeno	%	16,34

CO	mg/m3 gscn	63
SO2	mg/m3 gscn	126
NOx	mg/m3 gscn	192
MP	mg/m3 gscn	< 24
CO ₂	%	<5

Fuente: Resultados de los monitoreos fuentes fijas. C.A. Ecuatoriana de Cerámica
Realizado por: Verónica Carrera, 2019

En la Tabla 4-4, las cargas contaminantes están dentro de los valores de referencia según el Acuerdo Ministerial 091. El porcentaje de CO₂ compuesto que es el indicador de los gases efecto invernadero, es relativamente bajo. En el mes de junio del 2019 y septiembre del año 2018, el horno trabaja con gas natural; y se realiza el monitoreo de fuentes fijas. En el siguiente cuadro se resume los valores de cargas contaminantes para el horno estudiado utilizando gas natural.

Tabla 5-4: Caracterizaciones gaseosas HORNO B&T 3200 (GN)

2° semestre 2018

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Flujo de gas seco	m3/h	8695,6
Temperatura	°C	197,3
Oxígeno	%	17,76
CO	mg/m3 gscn	57
SO2	mg/m3 gscn	< 53
NOx	mg/m3 gscn	41
MP	mg/m3 gscn	< 17
CO ₂	%	< 5

Fuente: Resultados de los monitoreos fuentes fijas. C.A. Ecuatoriana de Cerámica
Realizado por: Verónica Carrera, 2019

En la Tabla 5-4, las cargas contaminantes están dentro de los valores de referencia según el Acuerdo Ministerial 091. El porcentaje de CO₂ compuesto que es el indicador de los gases efecto invernadero, es relativamente bajo.

4.2.1 Determinación de las emisiones de CO₂

Para poder determinar la factibilidad del cambio de matriz energética es necesario el análisis ambiental, razón por la cual se toma como referencia la generación de dióxido de carbono por combustible consumido, el cual se lo calcula mediante un factor de emisión que está determinado según el combustible utilizado en el proceso de cocción. Como resultado se obtiene que para el diésel se emite 7219,79 Kg CO₂ /s y 5998,40 Kg CO₂ /s para el gas natural.

4.3 Análisis de cambio de combustible de diésel a gas natural licuado.

Para el análisis del cambio de combustible, se considera las siguientes variables:

4.3.1 Balance de energía

El desarrollo total del balance de energía del Horno B&T 3200 al utilizar el combustible líquido Diésel y Gas Natural, se adjunta en el Anexo B; a continuación en la Tabla 6-4 se detalla el resumen de los resultados obtenidos del balance de energía.

Tabla 6-4: Resultados obtenidos del balance de energía – Diésel

CALOR	Símbolo	Energía (kW)	Contribución porcentual %	COSTO USD
Calor necesario para la eliminación de humedad y calentamiento	Q_BIS	2055,00	65,52	195,90
Calor necesario para las reacciones	Q_rx	664,90	21,20	
Calor perdido por las paredes	Q_P	398,70	12,71	
Calor perdido por fugas	Q_F	18,00	0,57	
Calor aportado por la combustión	Q_COMBUSTIÓN	3136,60	100,00	

Fuente: C.A. Ecuatoriana de Cerámica
Realizado por: Verónica Carrera, 2019

El calor requerido para eliminar el agua libre, representa un 65,52% del total de calor aportado por la combustión; el calor necesario para que se den todas las reacciones en la etapa de precalentamiento tiene una contribución personal del 21,20 %. El calor que se pierde ya sea por las paredes o por fugas es de 13,28%. Estos valores son bajos en relación a otras composiciones cerámicas, ya que en su composición posee muy poca cantidad de carbonatos.

4.3.2 Costos de combustibles

En el Ecuador el costo de los combustibles está regulado por el Ministerio de Energía y Minas y controlada por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero. El combustible gaseoso (gas natural licuado) está en función de los MMBTU /Kg que contenga el gas. Este dato es importante para el cálculo del precio, la empresa que provee el gas natural es

PETROECUADOR, la cual factura en función de los MMBTU/Kg que tiene el combustible, el poder calorífico del año 2019 es 0,05246133 MBTU /Kg.

En lo que respecta al costo del combustible líquido (diésel), tiene un margen comercial regulado y en el Ecuador la política de fijación de precios es que los precios están regulados por el Estado a través del Presidente de la República. A continuación en la Tabla 7-4, se detalla los costos actuales de los combustibles despachados en la planta industrial.

Tabla 7-4: Costos de combustibles

COMBUSTIBLE	COSTO USD + IVA (EMPRESA)	UNIDADES
GAS NATURAL	6,72	USD/MMBTU
DIÉSEL	18,30	USD/MMBTU

Fuente: C.A. Ecuatoriana de Cerámica
Realizado por: Verónica Carrera, 2019

La columna que indica el costo en la empresa se refiere al costo final al que entrega la empresa comercializadora en las instalaciones de la Planta Industrial de Ecuacerámica, éstos precios pueden variar mensualmente de acuerdo a la lista de precios actualizada en la página de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero.

4.3.2.1 Cálculos en el cambio de combustibles

Equipo: Horno B&T 3200

Base de Cálculo:

Datos DIÉSEL 2

Consumo en el horno: 2153 kg/s = 100,43 MMBTU/s

Poder calorífico superior : 0,04235339 MMBTU/ kg

Costo de la energía del combustible : 18,30 \$/MMBTU

Datos GAS NATURAL

Consumo en el horno: 1922 kg/s = 101,055 MMBTU/s

Poder calorífico superior : 0,0525779 MMBTU/ kg

Costo de la energía del combustible : 6,72 \$/MMBTU

Cálculos (simplificado)

*Energía entregada = consumo * PCS*

$$\text{Energía entregada}_{GN} = 101,055 \frac{\text{MMBTU}}{\text{s}}$$

$$\text{Energía entregada}_{diesel} = 100,43 \frac{\text{MMBTU}}{\text{s}}$$

*Gasto = energía entregada * costo de la energía*

$$\text{Gasto con diesel} = 1837,87 \frac{\text{USD}}{\text{s}}$$

$$\text{Gasto con gas natural} = 679,089 \frac{\text{USD}}{\text{s}}$$

AHORRO = Gasto con diesel – Gasto con gas natural

$$\text{AHORRO} = 1\,158,781 \frac{\text{USD}}{\text{s}}$$

Los 1158,781 USD, represente un 63% de ahorro por concepto de uso de combustible.

4.3.3 Costos de Mantenimiento

Para analizar el mantenimiento en un año de operación del horno trabajando con diésel o gas natural, se ha considerado las paras en horas. Cuando el horno trabajo con diésel las paras incrementan y al año se estima un total de 144 horas; cuando se usa gas natural las horas de para disminuyen a un 72 horas de para. Si consideramos que la producción por día es 7000 m², el costo por mantenimiento se eleva al utilizar diésel.

4.3.4 Comparación de combustibles

Tabla 8-4: Comparación de datos de combustibles

COMBUSTIBLE	UNIDAD	DIÉSEL	GAS NATURAL
Mantenimiento	USD /s	81,66	40,83
Costo	USD/s	1837,87	679,09
Flujo másico	kg/s	2153,00	1922,00
Emisiones de CO ₂	kg CO ₂ /s	7219,79	5998,40

Fuente: C.A. Ecuatoriana de Cerámica
Realizado por: Verónica Carrera, 2019

Al comparar el combustible líquido con el combustible gaseoso; se evidencia que el diésel aumenta los costos de mantenimiento y combustible; el flujo másico del diésel aumenta porque al tener un poder calorífico inferior necesita mayor consumo de combustible para generar el calor requerida. La emisión de kg de CO₂ por hora, es menor al utilizar el gas natural como combustible.

4.4 Análisis del costo de producción de la baldosa cerámica en la etapa de cocción al cambiar la matriz energética del horno continuo B&T 3200.

El costo de producción de la baldosa cerámica en el proceso de cocción se lo determina con el flujo másico calculado en el balance de energía multiplicado por el valor del combustible y dividido para los metros cuadrados de baldosa producida.

$$\text{costo de producción} = \frac{\text{consumo de combustible} * \text{valor en USD de combustible}}{\text{m}^2 \text{ producidos}}$$

$$\text{costo de producción diésel} = 0,83 \frac{\text{USD}}{\text{m}^2}$$

$$\text{costo de producción GN} = 0,31 \frac{\text{USD}}{\text{m}^2}$$

Del 100% del costo de producción total del m² de baldosa cerámica, el costo en la etapa de cocción representa un 14%. Al utilizar el gas natural como combustible para generar la energía térmica necesaria en la etapa de cocción el costo del m² producido disminuye.

CONCLUSIONES

- Realizado el balance de energía en el horno B&T 3200, tomando en cuenta la etapa de cocción que es donde hay consumo de combustible, se necesitan 3136,63 kW de calor para obtener el gres porcelánico el cual sale con 0% de humedad y a 90°C.
- Considerando el calor necesario para la combustión en las mismas condiciones de estacionalidad del horno, el consumo de diésel es de 2153,00 kg/s y de gas natural 1922,00 kg/s .
- Para los flujos máxicos obtenidos de diésel y gas natural, se tiene un costo de 1837,87 USD/s y 679,089 USD/s respectivamente. Y la emisión de gases efecto invernadero es 7139,99 kg CO₂/ s para el diésel y 5998,403 kg CO₂/ s para el gas.

RECOMENDACIONES

- El presente estudio de optimización del Horno continuo de cocción B&T 3200 sea acogida por la Alta Dirección de la empresa para su implementación en vista de que constituye una propuesta de mejora para la situación actual en el proceso de cocción.
- Que las instituciones privadas a nivel nacional que estén en la línea de proceso de producto cerámico, dispongan de información actualizada para realizar las diferentes propuestas de planes, programas y proyectos similares a ésta propuesta.
- Así también que se continúe dando apertura a profesionales de las Instituciones de Educación Superior, quienes mediante la ejecución de trabajos de investigación fortalezcan la mejora continua del proceso de producción de baldosa cerámica.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, S. (2013). *Estudio comparativo de las ventajas de desventajas del gas natural con respecto a otros combustibles*. México: Instituto Politécnica Nacional.
- Arriagada, G. (2006). *Petróleo y gas en America Latina. Un análisis político y de relaciones internacionales a partir de la política venezolana*. Madrid: Real Instituto Elcano.
- Barba, A., Beltrán, V., Feliu, C., García, J., Ginés, F., Sánchez, E., & Sáenz, V. (2002). *Materias primas para la fabricación de soportes del baldosas cerámicas*. Castellón: Instituto de Tecnología Cerámica 2 Edición.
- Beltrán, V; Sánchez, E; García Ten, J; Ginés, F. (1996). Materias primas empleadas en la fabricación de baldosas de pasta blanca en España. En *Materias primas empleadas en la fabricación de baldosas de pasta blanca en España*. (págs. 241, 114 -128). Castellón: Técnica Cerámica.
- Campodónico, H. (1999). La industria del gas natural y su regulación en América Latina. *CEPAL*, 150.
- Carvajal, P. (2013). *Balance Energético Nacional*. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2012). *Termodinámica*. México: Mc Graw Hill.
- cerámica, I. d. (22 de 09 de 2015). *Guía de colocación de recubrimiento*. Obtenido de Guía de colocación de recubrimientos:
http://www.ipc.org.es/guia_colocacion/info_tec_colocacion/los_materiales/baldosas/def_atr.html
- Chalco, V. (17 de agosto de 2005). *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. Obtenido de <http://unmsm.edu.pe>:
<http://unmsm.edu.pe/cedit/linked/analisis%20de%20cambio%20de%20combustible.pdf>
- Comisión Interdepartamental del cambio climático. (2011). *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)*. Catalunya: Oficina Catalana del Canvi Climàtic.
- Córdoba, P. (2014). *Formulación y evaluación de proyectos*. E.S. Marcos Ed.

- Energía, G. d. (01 de Diciembre de 2011). *Revista Virtual Pro*. Obtenido de Revista Virtual Pro: <http://www.si3ea.gov.co./Portals/0/Gie/Procesos/ceramica.pdf>
- EP-PETROECUADOR. (2019). *Informe de resultados*. Guayaquil: Gestión y control de calidad.
- Fernández , M. (2017). *Cálculo de la huella de carbono de la actividad del grupo de investigación (Tecnologías Ambientales y Recursos Industriales)*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
- Ferrer, S. (2016). *Análisis energético y Exergético del proceso de cocción de composiciones cerámicas*. Castellón: Universidad Jaume.
- Ferrer, S., Monfort, E., Mezquita, A., & Aguilera, V. (2014). Análisis exergético a un horno de cocción de baldosas cerámica. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 1-4.
- Fisher, L., & Espejo, J. (2013). *Mercadotecnia*. M.G Hill Ed. Vol 1.
- Galán , E., & Aparicio, P. (23 de 09 de 2019). *Materias primas para la industria cerámica*. Obtenido de http://www.ehu.eus/sem/seminario_pdf/SEMINARIO_SEM_2_031.pdf
- Gallardo, Y., & Moreno , A. (2014). *Recolección de la Información. Aprende a Investigar*. Colombia: In A, Editores.
- García, J., & Manuel, C. (2006). Análisis de las evidencias macroscópicas de cocción en la cerámica prehistórica: Unapropuesta para su estudio. *Mayurqa. Revista del Departamento de Ciencias Históricas y Teoría de las Artes*, 83-112.
- Jaramillo, M. (2013). Guía del proceso industrial para la fabricación de baldosas cerámicas. *Guía del proceso industrial para la fabricación de baldosas cerámicas*. Loja, Loja, Ecuador.
- Kozulk, R. (2004). *La industria del gas natural en América del Sur : situación y posibilidades de integración de los mercados*. Chile: Cepal.
- Longwell, H. (2002). The future of the oil and gas industry: past approaches, new challenges. *World Energy*, 100-104.
- Martínez, J. (2011). Métodos de investigación cualitativa. En J. Martínez, *Métodos de investigación cualitativa* (pág. 34). México: Silogismo.

- Mezquita, A., Monfort, E., Vaquer, E., Ferrer, S., Arnal, M., Toledo, J., & Cuesta, M. (2012). Optimización energética en la fabricación de baldosas cerámicas mediante el uso de aceite térmico. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 1-12.
- Monfort, E., Mezquita, A., Granel, R., Vaquer, E., Escrig, A., Miralles, A., & Zaera, V. (2010). Análisis de consumos energéticos y emisiones de dióxido de carbono en la fabricación de baldosas cerámicas. *Sociedad Española de Cerámica*, 303 -310.
- Mongrut, S; Alberti, F; Fuenzalida, D; & Akamine, M. (2014). Determinantes de la insolvencia empresarial en el Perú. *Revista Latinoamericana de administración*, 47.
- Monzó, M; J.E, Enrique; De la Torre, J. (1989). Defectos de los productos de monococción (y V) Defectos producidos en la cocción. *Técnica Cerámica*, 18-27.
- Navarro, S. (2013). *Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*. Valencia: U. P. d. Valencia Ed. Vol. 1.
- Núñez, J., Pedra, J., Peiró, M., Gómez, J., Chiva, L., & Carda, J. (2004). Investigaciones de interés sobre baldosas cerámicas. *Técnica Industrial* 252, 26-35.
- PETROECUADOR, E. (06 de 11 de 2016). *EP-Petroecuador 2012*. Obtenido de EP - Petroecuador: <http://www4.eppetroecuador.ec:8500/sistemanoticias/noticias/2012-013%20DESCUBREN%20NUEVAS%20RESERVAS%20DE%20GAS%20NATURAL%20EN%20COSTA%20ECUATORIANA.pdf>
- Rangel, A., & Portilla, C. (2016). El proceso de sustitución de combustibles pesados por gas natural en el sector industrial del Valle del Cauca. *SciELO*, 237 -266.
- Semplades, S. N. (22 de Septiembre de 2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017 - 2021 . Toda una Vida. Quito, Pichincha, Ecuador: Resolución N.º CNP-003-2017.
- SITI - B&T GROUP S.p.A a Socio Unico. (2010). Manual de uso u mantenimiento Horno de rodillos monoestrato. *Manuales*, LUM. FR. 002 Rev 3.
- Tejerina, A. (1977). *Termodinámica*. Madrid: Paraninfo.
- Vidal, A. (2017). *Simulación de la transferencia de energía en hornos monoestrato de rodillos para la cocción de baldosas cerámicas*. Castelló: Universitat Jaume I.
- Woischnik, A. (2002). VI Seminario Internacional de CILEA. *Innovación y transferencia tecnológica: desafíos y oportunidades de las PYMES en el Tercer Milenio* (pág. 12). Santiago de Chile: SENCE, Ministerio del Trabajo Chile.

ANEXOS

Anexo A

ACUERDO No. 091 - LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS PARA ACTIVIDADES HIDROCARBURÍFERAS

EL MINISTRO DE ENERGÍA Y MINAS

Considerando:

Que la Constitución Política de la República del Ecuador, faculta a los ministros de Estado, expedir normas, acuerdos y resoluciones que requiera la gestión ministerial, por lo tanto, el Ministerio de Energía y Minas está facultado para fijar los límites permisibles en las actividades hidrocarburíferas para disminuir los efectos que producen los diferentes tipos de emisiones a la atmósfera;

Que en el Libro VI, Anexo 3, numeral 4.1.2.3 de la Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas de Combustión, del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente, indica que, la entidad ambiental de control utilizará los límites máximos permisibles de emisiones indicados en las tablas 1 y 2 para fines de elaborar su respectiva norma;

Que de acuerdo con el artículo 9 de la Ley de Hidrocarburos, el Ministro de Energía y Minas es el funcionario encargado de la ejecución de la política de hidrocarburos, así como de la aplicación de la Ley de Hidrocarburos, para lo cual, está facultado a dictar los reglamentos y disposiciones que se requieran;

Que mediante Decreto Ejecutivo No. 1215, publicado en el Registro Oficial No. 265 de 13 del febrero del 2001, se promulgó el Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, en el cual se establecieron parámetros y valores referenciales para el control y monitoreo de emisiones a la atmósfera;

Que con Acuerdo Ministerial No. 071, publicado en el Registro Oficial No. 153 del 22 de agosto del 2003, el Ministerio de Energía y Minas, fijó los límites máximos permisibles para emisiones a la atmósfera proveniente de fuentes fijas para actividades hidrocarburíferas;

Que dentro del control y monitoreo de emisiones a la atmósfera, la realización del monitoreo de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y compuestos orgánicos volátiles (COVs), se presentó dificultades operativas por deficientes definiciones y estandarización en las normas exigidas por el citado reglamento ambiental;

Que para efectos de la aplicación del Acuerdo Ministerial No. 071, citado, se evidenciaron inexactitudes en las definiciones, las cuales han dado lugar a interpretaciones subjetivas en los reportes de monitoreo;

Que el Director Nacional de Protección Ambiental, mediante memorando No. 163- DINAPA-CSA-2006 del 2 de marzo del 2006, emite informe sobre el estudio técnico de revisión y evaluación de los reportes de monitoreo de emisiones a la atmósfera, presentados por las operadoras hidrocarburíferas, durante el tiempo de vigencia del Acuerdo Ministerial 071 que fijó los límites máximos permisibles para emisiones a la atmósfera proveniente de fuentes fijas para actividades hidrocarburíferas; recomendando, reformar la indicada regulación y someter a consulta pública el proyecto de reforma en cumplimiento del artículo 4 de la Ley de Gestión Ambiental;

Que mediante oficio circular No. 0321-SPA-DINAPA-CSA 603190 del 10 de marzo del 2006, la Subsecretaría de Protección Ambiental, consultó con la industria e instituciones de los sectores público y privado involucrados en la temática, el proyecto de reforma de la regulación para la fijación de dichos límites permisibles, y cuyas observaciones, fueron consideradas dentro de un proceso de evaluación técnica;

Que mediante memorando No. 1044 SPA-DINAPA-CSA-2006 del 26 de septiembre del 2006, la Subsecretaría de Protección Ambiental, solicitó de la Dirección de Procuraduría Ministerial, pronunciamiento sobre el proyecto de acuerdo ministerial que reforma los límites máximos permisibles para emisiones a la atmósfera proveniente de fuentes fijas para actividades hidrocarburíferas;

Que con memorando No. 1196 DPM-AJ de 15 de noviembre del 2006 la Dirección de Procuraduría Ministerial, emitió informe favorable sobre este acuerdo ministerial, y recomendó, salvo el mejor e ilustrado criterio del señor Ministro de Energía y Minas, fijar los límites máximos permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas para actividades hidrocarburíferas y derogar el Acuerdo Ministerial No.071, publicado en el Registro Oficial No. 153 del 22 de agosto del 2003; y,

En ejercicio de las facultades conferidas por el numeral 6 del artículo 179 de la Constitución Política de la República del Ecuador, los artículos 6 y 9 de la Ley de Hidrocarburos y el artículo 17 del Estatuto del Régimen Jurídico y Administrativo de la Función Ejecutiva,

Acuerda :

FIJAR LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS PARA ACTIVIDADES HIDROCARBURÍFERAS

Art. 1.- Límites permisibles.- Se fijan los valores máximos permisibles de emisiones a la atmósfera para los diferentes tipos de fuentes de combustión, en función de los tipos de combustible utilizados y de la cantidad de oxígeno de referencia atinente a condiciones normales de presión y temperatura, y en base seca, conforme las tablas 1, 2, 3 y 4. En aquellos casos donde se utilicen mezclas de combustibles, los límites aplicados corresponderán al del combustible más pesado.

Tabla 1.- Límites máximos permitidos para emisiones de calderos, hornos y calentadores.

Contaminante(mg/Nm ³) ^a	Tipo de combustible	
	GLP o Gas Diesel	Bunker o crudo
Material Particulado (MP)	N.A.	150150
Óxidos de Carbono (CO)	N.A.	5050
Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	400550, 700*550, 700*	
Óxidos de Azufre (SO ₂)	301650	1650
HAPs	0,10,10,1	
COVs	51010	

a) Expresado al 7% de O₂, en condiciones normales y en base seca.

* instaladas y operando antes de enero del 2003.

Tabla 2.- Límites máximos permitidos para emisiones de motores de combustión interna.

Contaminante (mg/Nm ³) ^a	Tipo de combustible	
	GLP o Gas Diesel	Bunker o crudo
Material Particulado (MP)	N.A.	100150
Óxidos de Carbono (CO)	N.A.	1500150

Óxidos de Nitrógeno (NOx) 140020002000
Óxidos de Azufre (SO2) 307001500
HAPs 0,10,10,1
COVs 51010

a) Expresado al 15% de O₂, en condiciones normales y en base seca.

Tabla 3.- Límites máximos permitidos para emisiones de turbinas.

Contaminante (mg/Nm ³)a	Tipo de combustible
	GAS / GLPDIESEL JP 1
Material Particulado (MP)	N.A50, 150*
Óxidos de Carbono(CO)	N.A.150
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	125, 300*165, 400*
Óxidos de Azufre (SO2)	30700
HAPs	0,10,1
COVs	510

a) Expresado al 15% de O₂, en condiciones normales y en base seca.

* Instaladas y operando antes de enero del 2003.

Tabla 4.- Límites máximos permitidos para incineradores operados por los sujetos de control.

Contaminante (mg/Nm ³)a	Límite permitido
Material Particulado (MP)	70
Óxidos de Carbono (CO)	196
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	796
Óxidos de Azufre (SO2)	57
HAPs	0,1
COVs	2

a) Expresado al 7% de O₂, en condiciones normales y en base seca.

mg/Nm³: Expresado como miligramos de contaminante por metro cúbico de gas seco y referido a condiciones normales de temperatura y presión.

MP: Material particulado muestreado isocinéticamente y medido gravimétricamente.

NOx: Medidos por separado NO y NO₂. Expresado y calculado como NO₂, según la ec. 1.

$$\text{mg/Nm}^3 \text{ NOx} = (\text{ppm NO} + \text{ppm NO}_2) \times 2,05 \text{ ec. 1}$$

COVs: Es la fracción de BETX medidos por cromatografía. Se expresan como mgC/Nm³. Usar el factor 0,4393 para expresarlos como C equivalente.

HAPs: Es la fracción de fenantreno, pireno y criseno medida mediante cromatografía. Se expresa como mgC/Nm³. Usar el factor 0,95 para expresarlos como C equivalente. Art. 2.- Determinación de HAPs.- Para la determinación, el control y el monitoreo de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) se considerará la suma de fenantreno, pireno y criseno, expresada en miligramos de carbono por metro cúbico de gas seco y referido a condiciones normales de Temperatura (T) y Presión (P) y al porcentaje de Oxígeno (O₂) que indiquen las tablas correspondientes. La determinación analítica de este parámetro se realizará mediante lo establecido en la siguiente tabla (tabla 5).

Tabla 5.- Métodos de muestreo y medición de emisiones de combustión.

PARÁMETRO	MÉTODO DE MUESTREO	INSTRUMENTOS	DE	MEDICIÓN
PRINCIPIO DE DETERMINACIÓN				
UBICACIÓN DE PUERTOS	EPA, Parte 60, Apéndice A, Métodos 1 ó 1 A	Calibrador y cinta métrica		Medición de longitudes y diámetros
VELOCIDAD	EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 2	Pitot y manómetro diferencial inclinado		Medición de presiones estática y dinámica
HUMEDAD	EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 4	Tren de borboteo		Condensación del agua y pesaje
PRESIÓN	EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 2	Pitot estático y manómetro diferencial de presión		
TEMPERATURA	EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 2	Termopar tipo K		Potenciometría
MATERIAL PARTICULADO	Chimeneas, de diámetros > 30 cm: EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 5 Chimeneas de diámetro < 30 cm: EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 1 A. Para las unidades de la tabla 2 operadas con crudo o bunker, EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 5B	Tren isocinético		Micro pitot y micro sonda previo al tren isocinético
				Succión de 1,25 m3 de gas, y gravimetría
OXÍGENO Y DIÓXIDO DE CARBONO (O ₂ y CO ₂)	EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 3	ORSAT o SE		Extracción de un volumen de gas y absorción en soluciones Orsay
MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	CTM-30, CTM -22	EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 10		SE, NDIR o GC
				Extracción de un volumen de gas y análisis electroquímico
DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO ₂) Y MONÓXIDO DE NITRÓGENO (NO)	CTM-30, CTM -22			Para las unidades de la tabla 2, operadas con crudo o bunker, EPA, Parte 60, Apéndice A, Métodos 7. Colorímetro para la determinación de Nitrato
				Quimiluminiscencia SE
				Extracción de un volumen de gas y borboteo en una solución oxidante. O extracción de un volumen de gas y análisis por quimiluminiscencia
DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂)	EPA, métodos 6, 6A, 6B o 6C. Para las unidades de la tabla 2, operadas con crudo o bunker, EPA, parte 60, Apéndice A, o método de cálculo ISO 8178-1			NDIR o GC
				Extracción de un volumen de gas y análisis electroquímico, o cálculo.
COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVs)	EPA, parte 60, Apéndice A, método 30			Extracción y preparación de la muestra: ASTM D6196
				Cromatografía Espectroscopia de Masas
				Filtración de un volumen de gas a través de un cartucho con XAD-2. Extracción, cromatografía de gases, análisis con espectroscopia de masas
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPs)	Muestreo: EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 23			Extracción y preparación de la muestra: ASTM D6209
				Cromatografía Espectroscopia de Masas
				Filtración de un volumen de gas a través de un cartucho con Carbotrap o Tenax. Desorción cromatografía de gases, análisis con espectroscopia de masas

Art. 3.- Determinación de COVs.- Para la determinación de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) se considerará la medición por separado del Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xileno (BETX). La suma de BETX se expresará en miligramos de carbono por metro cúbico de gas seco y referido a condiciones normales de Temperatura (T) y Presión (P), corregidos al porcentaje de Oxígeno (O₂) que se indique en la correspondiente tabla. La determinación analítica de este parámetro se realizará mediante lo establecido en la tabla 5 del presente acuerdo.

Art. 4.- Clasificación de fuentes de emisión y frecuencia de monitoreo.-

- a) Fuentes que No requerirían del monitoreo de MP, HAPs y COVs:
- Fuentes con potencia menor que 100 kW.
 - Fuentes operadas a gas natural o GLP;

b) Fuentes que No requerirían del monitoreo semanal de MP, HAPs y COVs, pero sí la medición semanal de gases (CO, NOx y SO2):

- Fuentes operadas en las Plataformas de Perforación durante la exploración y/o desarrollo;

c) Fuentes que requerirían del monitoreo trimestral de MP, HAPs y COVs:

- Fuentes operadas en las Plataformas de Perforación en exploración y/o desarrollo.
- Refinerías;

d) Fuentes diferentes a las contempladas en los literales a), b) y c) que requerirían del monitoreo completo de sus parámetros

- Fuentes con potencia activa comprendidas entre 100 kW y 5 MW; y, e)

Fuentes que requerirían del monitoreo "on line" de gases.

- Refinerías Petroleras.

- Plantas de generación eléctrica con potencia activa mayor a 5MW.

Art. 5.- Excepciones.-

a) En los casos contemplados en el artículo 5, literales b), c), d), e), el MP, HAPs y COVs no serán sujetos de monitoreo obligatorio, siempre y cuando el monitoreo de CO demuestre concentraciones inferiores a los límites permisibles que constan en el artículo 2, tablas 1, 2, 3 y 4 del presente acuerdo ministerial. El monitoreo de HAPs y COVs se efectuará en el periodo siguiente al monitoreo en que se detectó el incumplimiento del límite de CO. Además la Dirección Nacional de Protección Ambiental podrá disponer en cualquier momento el muestreo y análisis de estos parámetros de control;

b) Los mecheros verticales y antorchas verticales (vent stack) no estarán obligados al monitoreo de emisiones a la atmósfera debido a impedimentos técnicos para realizar el monitoreo directo, sin embargo se aplicará la ecuación 2, para establecer la altura geométrica mínima que deben cumplir para facilitar la dispersión vertical de contaminantes y de calor.

$$H = 14 \times Q^{0,35} \text{ ec.2}$$

Donde H = altura geométrica de la antorcha en metros.

Q = flujo másico de azufre (S) en Kg/hora calculado a partir de la concentración de H2S en el gas crudo;

c) En el caso de nuevas tecnologías de mecheros que no cumplan la condición del artículo 6, literal b), se deberá medir semestralmente la calidad del aire y la temperatura a nivel de receptor en todo su alrededor, debiendo cumplir las Normas Nacionales de Calidad del Aire Ambiente y no superar los 40° C;

d) Quedan eximidos del monitoreo de emisiones los generadores emergentes, motores y bombas contra incendios cuya tasa de funcionamiento sea menor a 300 horas por año. No obstante, si dichas unidades no son sujetas a un mantenimiento preventivo estricto, la Dirección Nacional de Protección Ambiental puede disponer que sean monitoreadas trimestralmente; y,

e) En las fases de almacenamiento, transporte, comercialización, se procederá tal como indica el Anexo 2, Tabla 3 del Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, referente a la periodicidad de los muestreos y análisis.

Art. 6.- Pórticos o Puertos de Muestreo.- Para la localización de los pórticos o puertos de muestreo se aplicará el método EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 1. Los pórticos pueden ser uniones de 3 pulgadas de diámetro rosca NTP, directamente soldadas a la chimenea. Para el

caso de chimeneas con diámetros entre 10 y 30 cm, se aplicará el método EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 1 A, para lo cual se instalarán dos pórticos, de preferencia de 1 pulgada de diámetro, instalados uno a continuación de otro y separados al menos 2 diámetros entre sí.

Art. 7.- Métodos de medición y análisis.- Se establecen como obligatorios los métodos estándar establecidos en la tabla 5 del presente acuerdo.

Art. 8.- Formatos

a) Los reportes de monitoreo periódico deben presentarse en forma impresa y en formato digital a la Dirección Nacional de Protección Ambiental del Ministerio de Energía y Minas. Para facilitar la sistematización de la información requerida ésta debe ser remitida por el sujeto de control en un archivo plano (formato .txt). La estructura de este archivo será oportunamente facilitado por la Dirección Nacional de Protección Ambiental;

b) Las fuentes de combustión y mecheros deberán registrarse conforme al formato que oportunamente establezca la Dirección Nacional de Protección Ambiental; y,

c) Los reportes periódicos de monitoreo deberán estar expresados en las unidades del Sistema Internacional de Unidades y deberán sujetarse al formato establecido en el Anexo 1 del presente acuerdo.

Art. 9.- Abreviaciones.- Las siguientes son las abreviaciones utilizadas en el presente acuerdo:

BETX: Benceno, Etilbenceno, Tolueno, Xileno.

COVs: Compuestos Orgánicos Volátiles, medidos por separado como BETX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) y expresados en mg de carbono por metro cúbico de gas seco referido a condiciones normales de temperatura y presión y corregido al oxígeno de referencia de las tablas 1, 2, 3 ó 4 según corresponda.

Carbotrap: Adsorbente de carbón activo para atrapar COVs.

EPA: Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.

GC: Cromatografía de gases.

Nm3: Metro cúbico de gas de chimenea seco y referido a condiciones normales de Temperatura (T) y Presión (P).

HAPs: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y expresados en mg de carbono por metro cúbico de gas seco referido a condiciones normales de temperatura y presión y corregido al Oxígeno de Referencia de las tablas 1, 2, 3 ó 4 según corresponda.

KW: Potencia de salida del equipo calculada y expresada en KW.

mg/Nm3: Miligramos de contaminante por metro cúbico de gas seco, a condiciones normales.

MS: Espectroscopía de Masas.

NDIR; Detector Infrarrojo no Dispersivo

ORSAT: Método de análisis para el oxígeno y el dióxido de carbono.

MP: Material particulado.

% de O2: Corrección de la concentración del contaminante gaseoso a una dilución constante de Oxígeno de Referencia.

SE: Censores Electroquímicos

Tenax: Resina adsorbente selectiva de COVs.

XAD-2: Resina selectiva para atrapar HAPs.

GLOSARIO DE TÉRMINOS:

CONDICIONES NORMALES: Una atmósfera de presión y Cero grados centígrados.

COVs: (Compuestos Orgánicos Volátiles) (siglas en inglés: VOCs): Los Compuestos Orgánicos Volátiles son aquellos hidrocarburos que participan en las reacciones fotoquímicas atmosféricas (excluyéndose el CO, CO metano, etano, etileno y otras, de bajo punto de ebullición), que incluyen el benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BETX).

HAPs: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos que se generan en procesos de combustión incompleta de los hidrocarburos. Los HAPs más carcinógenos y comunes se tienen el fenantreno, pireno y criseno.

ÍNDICE DE ISOCINETISMO: Relación entre la velocidad de succión en la boquilla y la velocidad del gas en la chimenea. El margen de error aceptado para validar los resultados del muestreo de Material Particulado (MP) es del $\pm 10\%$.

MATERIAL PARTICULADO (MP): Es toda materia sólida acarreada por el gas de la chimenea (hollín, ceniza u óxidos) que se muestrea en filtros de fibra de vidrio o cuarzo. Para este ensayo se considerará todo el material sólido en forma de hollín, óxidos o azufre que puedan ser emitidos por una chimenea.

MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA: Son aquellos motores que están acoplados a: generadores eléctricos, compresores o bombas.

MUESTREO ISOCINÉTICO: Es la extracción de un volumen de por lo menos 1,25 metros cúbicos de muestra gaseosa (equivale aproximadamente a 1 hora de muestreo continuo) desde el interior de un tramo recto de la chimenea. El muestreo debe realizarse asegurando que en cada punto del muestreo, la velocidad en la boquilla de succión posee la misma velocidad de los gases que ascienden por el interior de la chimenea en dicho punto.

Nivel de emisión corregido = Nivel de emisión medido x f

Donde
ec.3

ORSAT: Métodos de análisis de oxígeno y dióxido de carbono basados en la absorción de éstos en soluciones químicas.

OXÍGENO DE REFERENCIA: Cálculo de la concentración del gas contaminante referido a una dilución constante de referencia.

PITOT: Sonda constituida por dos tubos que transmiten las presiones diferenciales, estática y de impacto, imperantes en el interior de una chimenea en operación.

PRESIÓN DIFERENCIAL (P): Es la diferencia de presión que existe entre las presiones de impacto y la estática (P1-P2).

PRESIÓN ESTÁTICA (P2): Es la presión manométrica que existe en la pared interna de la chimenea. Puede tomar valores positivos o negativos dependiendo de si existe tiro o sobrepresión.

PRESIÓN DE IMPACTO (P1): Es la presión de choque o de impacto que se recibe en el orificio del pitot que se halla expuesto de frente al flujo del gas.

PRESIÓN BAROMÉTRICA: Es la presión atmosférica.

PRESIÓN ABSOLUTA: Es la suma de la presión barométrica más la presión estática.

PUERTO DE MUESTREO: También denominado pórtico, es un agujero realizado en un tramo recto de la chimenea desde donde se realiza la medición de velocidad, el muestreo de MP, la medición de la composición de gases y el muestreo de HAPs y COVs. La localización de los pórticos debe cumplir lo establecido por la EPA, Parte 60, Apéndice A, métodos 1 ó 1 A.

PUNTO DE MUESTREO: Sitio localizado en el interior de la chimenea al cual se accede a través del pórtico. En cada punto se deben medir las presiones de impacto y las diferenciales, así como el análisis del gas y la succión de la proporción de gas para la captura del MP. El número de puntos de succión se define en función de la localización de las perturbaciones anterior y posterior al pórtico y del diámetro de la chimenea.

DISPOSICIONES TRANSITORIAS

PRIMERA.- Hasta dentro de 90 días desde la publicación del presente acuerdo ministerial, todas las fuentes de combustión, incluidas aquellas definidas en el artículo 5 del presente acuerdo y que no se hayan reportado todavía a la Dirección Nacional de Protección Ambiental como punto de monitoreo, deberán registrarse en la Dirección Nacional de Protección Ambiental conforme el literal b) del artículo 9 del presente acuerdo ministerial, registro que está sujeto al pago de derechos por servicios de control, de acuerdo a lo establecido en el Acuerdo Ministerial No. 025, publicado en el Registro Oficial No. 113 de 28 de septiembre del 2005, o el que se emita en su lugar. Para aquellas chimeneas que se han reportado anteriormente a la Dirección Nacional de Protección Ambiental, deberá actualizarse la información sobre la base del literal b) del artículo 9, sin que esta actualización de información genere una nueva obligación de pago de derechos por servicios.

SEGUNDA.- Hasta 24 meses a partir de la publicación del presente acuerdo, la Subsecretaría de Protección Ambiental evaluará y revisará nuevamente los valores de límites permisibles para CO, HAPs y COVs. En este período, cualquier incumplimiento de dichos valores por parte de los sujetos de control no será motivo de sanción.

TERCERA.- Los límites establecidos en la tabla 4 serán considerados transitorios, mientras se espera la publicación de la Norma Nacional para Incineradores.

Art. final.- Este acuerdo ministerial rige a partir de la fecha de su publicación en el Registro Oficial, de su ejecución encárguese el señor Subsecretario de Protección Ambiental; y, deroga, el Acuerdo Ministerial No. 071, publicado en el Registro Oficial No. 153 del 22 de agosto del 2003.

Comuníquese y publíquese.

Dado, en Quito, Distrito Metropolitano, a 18 de diciembre del 2006.

FUENTES DE LA PRESENTE EDICIÓN DEL ACUERDO QUE FIJA LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS PARA ACTIVIDADES HIDROCARBURÍFERAS

- 1.- Acuerdo 091 (Registro Oficial 430, 4-I-007).

Anexo B. Balance de energía de la etapa de cocción Horno B&T 3200.

BALANCE DE ENERGÍA DE LA ETAPA DE COCCIÓN HORNO B&T 3200 –DIESEL”.

CONSIDERACIONES

24 HORAS DE TRABAJO SIN PARAS

NOMENCLATURA

F= Flujo de Alimentación kg / día

B= Biscocho (mezcla de arcillas y agua)

CC = Consumo de combustibles galones por día

Q ced 0 Calor proporcionado por la combustión

Q abs = Calor que absorbe el biscocho

Q per = Calor que se pierde hacia los alrededores

T precal= Temperatura máxima zona precalentamiento

T cocción= Temperatura máxima zona de cocción

Q_precal

$(Q_{sen_arc}+Q_{sen_h2o})_{100}+(Q_{evap_h2o})+(Q_{sen_arc}+Q_{sens_h2o})_{900}$

$Q_{cocc}=(Q_{sens_arc})_{1200}$

Cp= capacidad calorífica ((Cengel & Boles, 2012)

PHI_comb= densidad del combustible

DATOS:

PHI_comb= 832 “kg/m³”

F= 147268,1 /360 / 24

”CC= 2153*((3,785*832)/1000)/3600/24”

”CALOR PARA EL BISCOCHO”

T_precal=1033

T_cocc= 1182

T_i= 45

x_h2o= 0,05

x_arc= 1 - x_h2o

m_arc= F*x_arc

m_h2o= F*x_h2o

Cp_arc= 0,92

Cp_h2ol=4,18

Cp_h2ov=1,8723

$Q_{sens_arc1}=m_{arc}*Cp_{arc}*(100-T_i)$

$Q_{sens_h2ol}=m_{h2o}*Cp_{h2ol}*(100-T_i)$

$Q_{evap_h2o}=Enthalpy_vaporization(Water;T=100)*m_{h2o}/18$

$Q_{sen_arc2}= m_{arc}*Cp_{arc}*(T_{precal}-100)$

$Q_{sen_h2ov}= m_{h2o}*Cp_{h2ov}*(T_{precal}-100)$

Q_dot_precal=

$Q_{sens_arc1} + Q_{sens_h2ol} + (Q_{evap_h2o}) + (Q_{sens_arc2} + Q_{sens_h2ov})$

$Q_{dot_cocc}=m_{arc}*Cp_{arc}*(T_{cocc}-T_{precal})$

$Q_{BIS}=Q_{dot_precal}+Q_{dot_cocc}$

”CALOR DE PERDIDAS”

A_PV=115,6 “m²”

A_B=233,64 “m²”

A_S=233,64 “m²”

T_PV=331 “K”

T_B= 336 "K"
 T_S= 331 "K"
 T_0= 273 "K"
 Emi= 0,95
 C_R= 5,67

$$Q_p = ((C_{c_PV} * (T_{PV} - T_0)^{1,25} * A_{PV} + E_{mi} * C_R * ((T_{PV}/100)^4 - (T_0/100)^4) * A_{PV}) + (C_{c_B} * (T_B - T_0)^{1,25} * A_B + E_{mi} * C_R * ((T_B/100)^4 - (T_0/100)^4) * A_B) + (C_{c_S} * (T_S - T_0)^{1,25} * A_S + E_{mi} * C_R * ((T_S/100)^4 - (T_0/100)^4) * A_S)) / 1000$$

"COMBUSTION

Se asume que la fórmula del diésel es igual a la del dodecano que se quema con aire húmedo con una humedad relativa de 40%"

Fuel\$ = 'Dodecabe (C12h26)'

T_fuel= 25

Percente EX= 55 "[%]"

Ex 0 PercentEX/100 "[%Excess air/100]"

P_air= 101,3 [kPa]

T_air= 25 "[C]"

RH_1= 40/100 "[%]"

T_prod= 200 [C]

M_air = 28,97 [kg/kmol]

M_water = 18 [kg/kmol]

M_c12H26=(12*12+26*1) "[kg/kmol]"

"C12H26 + A_th(O2+3.76 N2)=12 CO2+13 H2O + A_th (3.76) N2"

A_th*2=12*2+13*1 "theoretical O balance"

"Cálculo de la humedad que acompaña a la reacción"

omega=HumRat(AirH2O;T=T_air1 ;r=rh_1 ;P=P_air1)", kgv/kg"

N_w=omega*(A_th*4,76*M_air)/M_water "moles de agua en el aire, kmol/kmol_fuel"

"Balance de la reacción con exceso de aire"

"C12H26 + (1+EX)[A_th(O2+3,76 N2)+N_w H2O]=12 CO2+(13+(1+EX)*N_w) H2O + (1+EX)

A_th (3,76) N2+ Ex(A_th) O2"

H_fuel = -291010 [kJ/kmol]

"Dato tabulado"

HR=H_fuel+

(1 +Ex)*A_th*enthalpy(O2;T=T_air1)+(1 +Ex)*A_th*3,76*enthalpy(N2;T=T_air1)+(1 +Ex)*N_w*enthalpy(H2O;T=T_air1)

HP=12*enthalpy(CO2;T=T_prod)+(13+(1+EX)*N_w)*enthalpy(H2O;T=T_prod)+(1+EX)*A_th*3,76*enthalpy(N2;T=T_prod)+Ex*A_th*enthalpy(O2;T=T_prod)

Q_net=(HR-HP)"kJ/kmol"/(M_C12H26 "kg/kmol") "[kJ/kg_C8H18]"

Q_COMBUSTIBLE=CC*Q_net

"CALOR REACCIONES"

X_CAOLINITA= 0,34

X_XILLITA= 0,06

X_CLORITA= 0,03

X_CUARZO= 0,19

X_PARGONITA= 0

X_CALCITA= 0

X_DOLOMITA= 0

X_FEDEL= 0
X_AMORTITA= 0,38
X_WOLLASTITA= 0
X_ENSTANTITA= 0
X_DIOPSIDO= 0
X_ARENTITA= 0
X_GELENITA= 0
X_MULLITA= 0

$Q_{rx} = X_{PARAGONITA} * M_{ARC} * 236 + X_{CAOLINITA} * m_{arc} * 1158 + X_{ILLITA} * m_{arc} * 374 + X_{CLORITA} * m_{arc} * 323 + X_{CUARZO} * m_{arc} * 11,7 + X_{CALCITA} * m_{arc} * 1796 + X_{DOLMITA} * m_{arc} * 1641 + X_{FEDEL} * m_{arc} * 207 - X_{AMORTITA} * m_{arc} * 46 - X_{WOLLASTITA} * m_{arc} * 761 - X_{ENSTANTITA} * m_{arc} * 327 - X_{DIOPSIDO} * m_{arc} * 666 - X_{ARENTITA} * m_{arc} * 636 - X_{GELENITA} * m_{arc} * 500 - X_{MULLITA} * m_{arc} * 280$

$Q_{COMBUSTIBLE} = Q_{BIS} + Q_P + Q_{rx} + 17,4$
 $CONSUMO = CC * ((1000 * 3600 * 24) / (3,785 * 832))$

“BALANCE DE ENERGÍA DE LA ETAPA DE COCCIÓN HORNO B&T 3200 – **GAS NATURAL** “

CONSIDERACIONES:

24 HORAS DE TRABAJO SIN PARAS

F= Flujo de Alimentación kg / día

B= Biscocho (mezcla de arcillas y agua)

CC= Consumo de combustibles galones por día

Qced= Calor proporcionado por la combustión

Qabs= Calor que absorbe el biscocho

Qper= Calor que se pierde hacia los alrededores

Tprecal=Temperatura máxima zona precalentamiento

Tcoccion=Temperatura máxima zona de cocción

$Q_{precal} = (Q_{sens_arc} + Q_{sens_h2o})_{100} + (Q_{evap_h2o}) + (Q_{sens_arc} + Q_{sens_h2o})_{900}$

$Q_{coccc} = (Q_{sens_arc})_{1200}$

DATOS:"

PHI_comb= 0,6889 "kg/Nm³"

F= 147268,1 /3600 / 24

“CC= 2153*((3,785*0,6889)/1000)/3600/24”

“CALOR PARA EL BISCOCHO”

T_precal= 1033

T_coccc= 1182

T_i= 45

x_h2o= 0,05

x_arc= 1-x_h2o

m_arc= F*x_arc

m_h2o= F*x_h2o

Cp_arc= 0,92

Cp_h2ol=4,18

Cp_h2ov=1,8723

$Q_{sens_arc1} = m_{arc} * Cp_{arc} * (100 - T_i)$

$Q_{sens_h2ol} = m_{h2o} * Cp_{h2ol} * (100 - T_i)$

$Q_{evap_h2o} = \text{Enthalpy_vaporization (Water } t=100) * m_{h2o} / 18$

$Q_{sens_arc2} = m_{arc} * Cp_{arc} * (T_{precal} - 100)$

$Q_{sens_h2ov} = m_{h2o} * Cp_{h2ov} * (T_{precal} - 100)$

Q_dot_precal=

$(Q_{sens_arc1} + Q_{sens_h2ol}) + (Q_{evap_h2o}) + (Q_{sens_arc2} + Q_{sens_h2ov})$

$Q_{dot_coccc} = m_{arc} * Cp_{arc} * (T_{coccc} - T_{precal})$

Q_B IS=Q_dot_precal +Q_dot_coccc

"CALOR DE PERDIDAS"

Cc_PV=1,85 "J/m² s K 1,25"

Cc_B=2,5 "J/m² s K 1,25"

Cc_S=1,31 "J/m² s K 1,25"

A_PV=115,6 "m²"

A_B=233,64 "m²"

A_S=233,64 "m²"

T_PV=331 "K"

T_B=336 "K"

T_S=331 "K"

T_0=273 "K"

Emi=0,95

C_R=5,67

$$Q_p = ((C_{c_PV} * (T_{PV} - T_0)^{1,25} * A_{PV} + E_{mi} * C_R * ((T_{PV}/100)^4 - (T_0/100)^4) * A_{PV}) + (C_{c_B} * (T_B - T_0)^{1,25} * A_B + E_{mi} * C_R * ((T_B/100)^4 - (T_0/100)^4) * A_B) + (C_{c_S} * (T_S - T_0)^{1,25} * A_S + E_{mi} * C_R * ((T_S/100)^4 - (T_0/100)^4) * A_S)) / 1000$$

"COMBUSTION

Se asume que la fórmula del gas natural es igual a la del metano que se quema con aire húmedo con una humedad relativa de 40%"

Fuel\$ = 'Metane (CH4)'

T_fuel = 25

PercentEX = 55 "[%]"

Ex = PercentEX/100 "[%Excess air/100]"

P_air1 = 101,3 [kPa]

T_air1 = 25 "[C]"

RH_1 = 40/100 "[%]"

T_prod = 200 [C]

M_air = 28,97 [kg/kmol]

M_water = 18 [kg/kmol]

M_CH4=(12*1 +4*1) "[kg/kmol]"

"CH4 + A_th(02+3.76 N2)= C02+ 2H20 + A_th (3.76) N2"

A_th*2=1 *2+2*1 "theoretical O balance"

"cálculo de la humedad que acompaña a la reacción"

omega=HumRat(AirH20;T=T_air1; r=rh_1 ;P=P_air1)", kgv/kg"

N_w=omega*(A_th*4,76*M_air)/M_water "moles de agua en el aire, kmol/kmol_fuel"

"Balance de la reaccion con exceso de aire"

"CH4 + (1 +EX)[A_th(02+3,76 N2)+N_w H20]= C02+(2+(1 +EX)*N_w) H2O + (1 +Ex) A_th (3, 76)

N2+ Ex(A_th) 02 "

H_fuel = -7 4850 [kJ/kmol] "Dato tabulado"

HR=H_fuel+

(1 +Ex)*A_th*enthalpy(02;T=T_air1)+(1 +Ex)*A_th*3, 76*enthalpy(N2;T=T_air1)+(1 +Ex)*N_w*enthalpy(H2O;T=T_air1)

HP=1*enthalpy(CO2;T=T_prod)+(2+(1+Ex)*N_w)*enthalpy(H2O;T=T_prod)+(1+Ex)*

A_th*3,76*enthalpy(N2;T=T_prod)+Ex*A_th*enthalpy(O2;T=T_prod)

Q_net=(HR-HP)"kJ/kmol"/(M_CH4"kg/kmol")"[kJ/kg_CH4]"

Q_COMBUSTIBLE=CC*Q_net

"CALOR REACCIONES"

X_CAOLINITA=0,34

X_ILLITA=0,06

X_CLORITA=0,03

X_CUARZO=0, 19

X_PARAGONITA=0

X_CALCITA=0

X_DOLMITA=0

X_FEDEL=0

X_AMORTITA=0,38

X_WOLLASTITA=0

X_ENSTANTITA=0

X_DIOPSIDO=0

X_ARENTITA=0

X_GELLENITA=0

X_MULTITA=0

$Q_{rx} = X_{PARAGONITA} * M_{ARC} * 236 + X_{CAOLINITA} * m_{arc} * 1158 + X_{ILLITA} * m_{arc} * 374 + X_{CLORITA} * m_{arc} * 323 + X_{CUARZO} * m_{arc} * 11,7 + X_{CALCITA} * m_{arc} * 1796 + X_{DOLMITA} * m_{arc} * 1641 + X_{FEDEL} * m_{arc} * 207 - X_{AMORTITA} * m_{arc} * 46 - X_{WOLLASTITA} * m_{arc} * 761 - X_{ENSTANTITA} * m_{arc} * 327 - X_{DIOPSIDO} * m_{arc} * 666 - X_{ARENTITA} * m_{arc} * 636 - X_{GELENITA} * m_{arc} * 500 - X_{MULTITA} * m_{arc} * 280$

$Q_{COMBUSTIBLE} = Q_{BIS} + Q_P + Q_{rx} + 17,4$