

**DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA EMPRESA
LADRILLOS EL ZIPA PAIPA BOYACÁ, MEDIANTE ANÁLISIS DE CICLO DE
VIDA**

**ANDRÉS FELIPE SANABRIA GAMBOA
ROBINSON VELÁSQUEZ VELÁSQUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES
BUCARAMANGA
2016**

**DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA EMPRESA
LADRILLOS EL ZIPA PAIPA BOYACÁ, MEDIANTE ANÁLISIS DE CICLO DE
VIDA**

**ANDRÉS FELIPE SANABRIA GAMBOA
ROBINSON VELÁSQUEZ VELÁSQUEZ**

**Trabajo de grado, presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Metalúrgico**

**DIRECTOR:
WALTER PARDAVÉ LIVIA
INGENIERO METALÚRGICO, MSc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen, por fortalecerme en los momentos de dificultad que se presentan en el diario vivir.

A mis padres José Aníbal Sanabria y Elizabeth Gamboa Tarazona, mis hermanos José Luis Sanabria y Diego Armando Sanabria por su cariño y apoyo incondicional.

A mi familia, de la cual recibí siempre una motivación constante para poder culminar mis estudios profesionales.

A mis compañeros y amigos que de una u otra forma hicieron parte del desarrollo de este gran trabajo.

Andrés Felipe Sanabria Gamboa

DEDICATORIA

*A Dios, por iluminarme y bendecirme, por guiarme y darme fuerzas
para luchar por mis sueños.*

*A mi madre Carmen Rosa, el motor de mi vida, por tenerme tanta
paciencia, por su amor incondicional y quien ha sido mi gran apoyo
durante todo este trayecto, y a quien le debo mucho.*

*A mi padre Cristobal, que desde el cielo me está cuidando y
apoyando para seguir adelante con todas mis metas.*

*A mi familia, por sus palabras de aliento que han contribuido en mi
vida y que han sido partícipes de este gran logro.*

*A todas aquellas personas, compañeros y amigos, que aportaron una
parte de ellos para hacerme crecer como persona, brindándome sus
conocimientos para contribuir en mi carrera profesional.*

Robinson Velásquez Velásquez

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander por abrirnos las puertas a este hermoso mundo del conocimiento.

Al ingeniero Walter Pardavé Livia, director del proyecto y docente de la escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, por su confianza, colaboración, formación académica y apoyo durante la ejecución de este proyecto de grado.

A todos los profesores de la escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales que nos brindaron sus conocimientos durante el transcurso de la carrera, quienes nos hicieron crecer como personas y nos aportaron un maravilloso aprendizaje.

A José Mauricio Iguavita Bohórquez, gerente general de ladrillos El Zipa, por permitir realizar el proyecto de grado en la empresa y por brindarnos su apoyo en la realización del proyecto.

A todos nuestros amigos y compañeros de la universidad por su grata amistad y a todas aquellas personas que de una u otra manera hicieron posible la culminación de nuestro proyecto de grado.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1 OBJETIVOS.....	18
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
2 MARCO TEÓRICO	19
2.1 INDUSTRIA LADRILLERA Y GEI	19
2.2 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV) DE LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS.....	20
2.3 EL HORNO TÚNEL	22
2.4 DIAGRAMA DE OSTWALD Y DIAGRAMA DE SANKEY.....	24
2.5 ¿CÓMO SE DETERMINA LA HUELLA DE CARBONO EN LA INDUSTRIA?	24
3 METODOLOGÍA	26
4 RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	32
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN UTILIZADO EN LADRILLOS EL ZIPA.....	32
4.1.1 Humedad presente en el carbón	32
4.1.2 Cenizas presentes en el carbón	33
4.1.3 Materia volátil presente en el carbón	35
4.1.4 Determinación del índice de hinchamiento	36
4.1.5 Determinación del poder calorífico.....	38
4.1.6 Cantidad de azufre total presente en el carbón.....	40
4.1.7 Determinacion del carbono fijo.....	41

4.2	APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE OSTWALD	43
4.3	CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO	45
4.4	BALANCE DE MASA EN LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ARCILLOSOS DE LA EMPRESA LADRILLERA EL ZIPA	49
4.5	BALANCE DE ENERGÍA EN LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ARCILLOSOS DE LA EMPRESA LADRILLERA EL ZIPA.....	51
4.6	APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE SANKEY	54
4.7	COMPARACIÓN DEL HORNO COLMENA CON EL HORNO TÚNEL	55
4.8	MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA EMPRESA LADRILLERA EL ZIPA.....	56
5	CONCLUSIONES	59
6	RECOMENDACIONES	60
	BIBLIOGRAFÍA.....	61
	ANEXOS.....	65

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de las etapas para la fabricación de ladrillos	21
Figura 2. Representación del análisis de ciclo de vida de la fabricación de ladrillos.....	22
Figura 3. Esquema general de un horno túnel.....	23
Figura 4. Carbón apilado en patio de la empresa ladrillera El Zipa.....	28
Figura 5. Perfil del botón de carbón	36
Figura 6. Escala completa de perfiles estándares y sus correspondientes índices de hinchamiento, según la norma ASTM D720.....	35
Figura 7. Gráfica auxiliar de Schultes para la determinación del CO ₂ máximo.....	43
Figura 8. Diagrama de Ostwald para el carbón bituminoso de alta volatilidad tipo A, utilizado como combustible en la empresa ladrillera El Zipa.....	44
Figura 9. Distribución de la cantidad de CO ₂ eq emitido por el consumo eléctrico, horno túnel y consumo de combustible.....	49
Figura 10. Diagrama de Sankey del horno túnel de la empresa ladrillera El Zipa..	54

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores medidos para la determinación del porcentaje de humedad del carbón empleado en ladrillos El Zipa	32
Tabla 2. Valores medidos para la determinación del porcentaje de cenizas del carbón empleado en ladrillos El Zipa	33
Tabla 3. Valores medidos para la determinación del porcentaje de materia volátil del carbón empleado en ladrillos El Zipa	35
Tabla 4. Valores medidos para la determinación del poder calorífico del carbón empleado en ladrillos El Zipa	38
Tabla 5. Valores medidos para la determinación del porcentaje de azufre del carbón empleado en ladrillos El Zipa	40
Tabla 6. Resumen de las características medidas del carbón empleado en ladrillos El Zipa	41
Tabla 7. Clasificación de carbones por rango según la norma ASTM D 388.....	42
Tabla 8. Valores de consumo eléctrico de los equipos empleados en los procesos de elaboración de un ladrillo.....	46
Tabla 9. Consumo y tipo de combustible de los vehículos empleados en ladrillos El Zipa.....	46
Tabla 10. Cantidades de CO ₂ eq en Kg para el consumo de energía de los equipos empleados en los procesos de elaboración de un ladrillo.....	48
Tabla 11. Cantidades de CO ₂ eq en Kg para el consumo y tipo de combustible de los vehículos utilizados en la empresa ladrillera.....	48

Tabla 12. Datos contemplados para la comparación del horno colmena con el horno túnel en la empresa ladrillera El Zipa	55
Tabla 13. Valores máximos permisibles para cada tipo de contaminante estudiado	57
Tabla 14. Niveles de concentración promedio para PM10.....	57
Tabla 15. Niveles de concentración promedio para SO ₂	57
Tabla 16. Niveles de concentración promedio para NO ₂	58

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Proceso esquemático de la fabricación de productos arcillosos en la empresa ladrillera El Zipa	65
ANEXO B. Diagrama de las características del carbón	66
ANEXO C. Plano de la empresa ladrillera El Zipa	66
ANEXO D. Tabla de factores de emisión promedio para la electricidad en los diferentes países según la Agencia Internacional de Energía (IEA)	67
ANEXO E. Tabla de factores de emisión para el consumo y tipo de combustible de los vehículos según la Agencia de Protección Ambiental (EPA)	69

RESUMEN

TÍTULO: DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA EMPRESA LADRILLOS EL ZIPA PAIPA BOYACÁ, MEDIANTE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA*.

AUTORES: ANDRÉS FELIPE SANABRIA GAMBOA. ROBINSON VELÁSQUEZ VELÁSQUEZ**

PALABRAS CLAVES: Huella de carbono, gases de efecto invernadero, análisis de ciclo de vida, dióxido de carbono.

DESCRIPCIÓN:

En la actualidad diferentes industrias alrededor del mundo se están interesando cada vez más por un tema de gran importancia que incumbe a la población en general, la huella de carbono. La huella de carbono se define como la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos directa o indirectamente por un individuo u organización, y estos son transformados a equivalentes de CO₂. Este gran impacto causado al medio ambiente se pudo medir realizando un análisis de ciclo de vida del producto obtenido por la organización.

En el transcurso del trabajo se realizó un esquema representativo del proceso de fabricación de los productos arcillosos a cargo de la empresa ladrillera El Zipa y mediante un balance de materia y energía se analizó en cada etapa las cantidades de entrada y salida al proceso; con ello se determinó la cantidad de dióxido de carbono de cada etapa de fabricación del producto para su posterior conversión a Kg de CO₂ equivalente, los cuales se estaban emitiendo sin ningún control a la atmósfera. El método del ciclo de vida consistió principalmente en analizar los distintos procesos que se llevaron a cabo, partiendo de una materia prima, y sometiéndola a diferentes etapas para obtener los productos finales. Como herramienta para la determinación de la huella de carbono se caracterizó el carbón empleado en la empresa para así analizar el impacto que le pueda causar al medio ambiente.

Finalmente se calculó la huella de carbono de la empresa reuniendo información fundamental de producción y su área administrativa, dando como resultado una huella de carbono de 3618,884 Kg de CO₂ equivalente diarios, lo cual se considera aceptable.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Director: Walter Pardavé Livia.

ABSTRACT

TITLE: DETERMINATION OF CARBON FOOTPRINT BRICK COMPANY EL ZIPA, PAIPA BOYACÁ, BY LIFE-CYCLE ASSESSMENT.*

AUTHORS: ANDRÉS FELIPE SANABRIA GAMBOA. ROBINSON VELÁSQUEZ VELÁSQUEZ**.

KEYWORDS: Carbon footprint, greenhouse gases, life-cycle assessment, carbon dioxide.

DESCRIPTION:

Currently, different industries around the world are increasingly concerned by an issue, which is of great importance. That's the issue of the general population involving the carbon footprint. The carbon footprint is defined as the total greenhouse gases (GHG) emitted directly or indirectly by an individual or organization, which are converted to CO₂ equivalents. The great impact caused to the environment by GHG could be measured by performing a life-cycle assessment of the product obtained by the organization.

During the work a representative diagram of the manufacturing process of clay products Bricks by the company and the Zipa was created, using a mass balance and the quantities of energy entering and leaving the process was analyzed at each stage. Thus the amount of carbon dioxide in the product manufacturing stage that got converted subsequently to kg of CO₂ equivalent, that were emitted without control was determined to atmosphere. The method of the life cycle consisted mainly of analyzing the different processes that were carried out, starting from a raw material, and subjecting it to different steps to obtain the final products. This was used as a tool to determine the carbon footprint of coal caused by the company in order to analyze the impact that it can cause to the environment.

Finally the carbon footprint of the company gathering critical information the production and administrative area was calculated, resulting in a carbon footprint 3618,884 Kg CO₂ eq daily and it is considered acceptable.

* Degree Work

** Faculty of Engineering. School of metallurgical engineering and materials science. Director: Walter Pardavé Livia.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático se ha convertido en los últimos años en un gran tema de interés, debido a la preocupación que existe por el aumento considerable del calentamiento global, producto del incremento de gases de efecto invernadero (GEI), tales como: Dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, ozono y clorofluorocarbonos, que se acumulan en la atmósfera de la tierra, absorbiendo la radiación infrarroja del sol, aumentando y reteniendo el calor en la atmósfera. Si estos gases termoactivos intensifican a los que se encuentran en la atmósfera, se convierten en un peligro mayor porque de ésta manera se aumenta la temperatura de la tierra. Esto es resultado del manejo indebido del hombre con sus recursos por las actividades inadecuadas que realiza; por tal razón en las industrias se vienen aplicando determinados métodos con el fin de mitigar la cantidad de emisión de dichos gases, siendo la “huella de carbono” un término conocido por diferentes sectores de la industria.

Es posible convertir todas las emisiones gaseosas de un proceso a una unidad denominada dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq); conociendo este dato se puede aplicar el método más adecuado para reducir su emisión. Industrialmente ésta técnica se aplica desde el recibimiento de la materia prima hasta el producto final. Al tener conocimiento de esta, se debe generar un compromiso por parte de las empresas para mitigarlo, y de esta manera disminuir el impacto sobre el calentamiento global.

Uno de los sectores industriales en los cuales se observa GEI es la industria ladrillera, en donde se requiere elevadas temperatura para llevar a cabo ciertos procesos, por ejemplo, en el empleo de temperaturas extremas para la calcinación del ladrillo. En este proceso ocurren ciertas reacciones químicas que con la

presencia del calor producen gases como el dióxido de carbono, el cual es expulsado al medio ambiente, convirtiéndose en riesgo para el planeta.

Las industrias ladrilleras convencionalmente utilizan combustibles sólidos (carbón, coque), por consiguiente liberan GEI de acuerdo al grado de tecnología aplicado, por eso es importante el cálculo de su huella de carbono que generan en la zona de influencia.

La finalidad de conocer la cantidad de CO₂ equivalente es dar a conocer la magnitud del problema que la empresa le está generando al medio ambiente y buscar medidas para mitigarlo. En la actualidad es prácticamente una obligación estar comprometidos con el entorno; por tal razón existen diferentes normas que buscan certificar a las empresas para que tengan un sistema de gestión ambiental.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar la huella de carbono en la empresa ladrillera El Zipa basados en el análisis del ciclo de vida y el grado de contaminación que le genera al entorno.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el balance de materia de las etapas de fabricación de ladrillos en la empresa ladrillera El Zipa.
- Realizar el balance de energía de las etapas de fabricación de ladrillos en la empresa ladrillera El Zipa.
- Estimar el valor de la huella de carbono en la empresa ladrillera El Zipa.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 INDUSTRIA LADRILLERA Y GEI

El clima de la tierra varía continuamente debido a las alteraciones en el balance energético que ocurre en ella. Para el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), el cambio climático se define como un cambio en el estado del clima identificable, como un análisis estadístico en donde se parte del cambio de un valor medio y en la variación de sus propiedades que persiste durante largos periodos de tiempo. La variación continua del clima puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmosfera. Según el IPCC el CO₂ aparece desde 1750 e intensifica el grado de acidez de las capas superficiales del océano.

El cambio climático puede deberse en gran parte a la emisión continua de los gases efecto invernadero (GEI) a la atmósfera de la tierra, los cuales absorben eficazmente la radiación infrarroja emitida por el planeta, esta radiación está relacionada íntimamente con la temperatura de la atmosfera. Los gases primarios de efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃).

Las industrias ladrilleras artesanales son consideradas una de las principales fuentes de emisión de contaminantes a la atmosfera, afectando de esta manera la salud humana y los recursos naturales. Es por tanto que se están implementando producciones más limpias con tecnología avanzada que permitan cambiar los hornos tradicionales por hornos más modernos que mejoren la eficiencia energética y de esta manera reducir en un alto porcentaje el consumo de carbón y generación de emisiones.

En el 2015 se llevó a cabo la 21ª conferencia de las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en Francia (COP21/CMP11), que tuvo como objetivo principal mantener el calentamiento global por debajo de los 2°C en comparación con los niveles preindustriales y adaptar a las sociedades a la desorganización climática existente.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) fue adoptada en la Cumbre de la tierra de Río de Janeiro en el año de 1992, y entró a regir el 21 de marzo de 1994, y de ésta manera fue aprobada por 196 Estados, los cuales constituyen las “Partes”, es decir, las partes interesadas de la Convención. Esta Convención es universal y reconoce la existencia de un cambio climático producto de la actividad humana y atribuye a los países industrializados la responsabilidad para luchar contra este fenómeno. Como resultados de la conferencia realizada en la COP 21 en Francia los miembros acordaron reducir sus emisiones de carbono en un menor tiempo y tratar de mantener el calentamiento global muy por debajo de los 2 grados centígrados lo más rápido posible. Cada país que ratifique el acuerdo establecerá un objetivo de reducción de emisiones, sin embargo, ésta cantidad será voluntaria.

2.2 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV) DE LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS

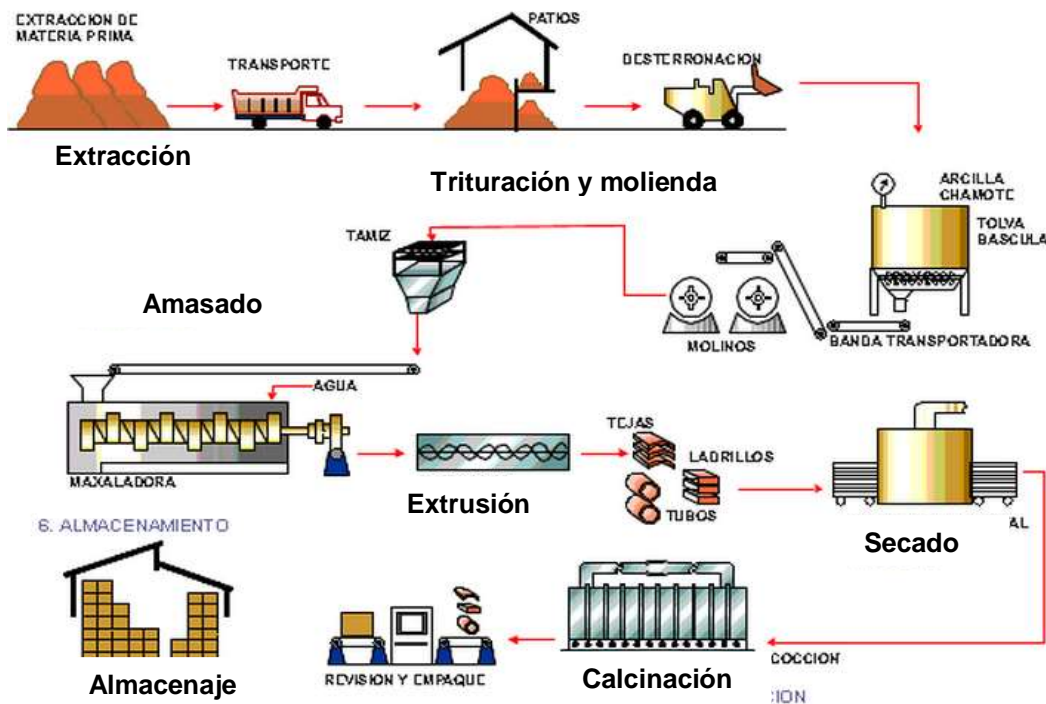
El análisis del ciclo de vida es una herramienta metodológica que se emplea para medir el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida (desde que se obtienen las materias primas hasta su fin de vida). El ACV cuantifica, cualifica y valora los flujos de entrada y salida de un sistema para luego evaluar los diferentes impactos que estos causan al medio ambiente con el objetivo de poder determinar estrategias para la reducción de los mismos.

Todas las actividades o procesos ocasionan impactos medioambientales que consideran consumo de recursos, emiten sustancias al entorno y generan otras

modificaciones al ambiente durante su periodo de vida. Los impactos medioambientales incluyen el cambio climático, la reducción de la capa de ozono, la generación de ozono en la troposfera, eutrofización, acidificación, entre otras. El principio básico de la herramienta es la identificación y descripción de todas las etapas del ciclo de vida de los productos, desde la extracción y pretratamiento de las materias primas, la producción, la distribución y uso del producto final hasta su posible re-utilización, reciclaje o deshecho del producto.

A continuación se muestra un esquema de las etapas para la fabricación de ladrillos, partiendo de la extracción de la materia prima hasta el almacenamiento del producto a comercializar; este esquema es de gran utilidad debido a que se puede emplear para realizar su análisis de ciclo de vida.

Figura 1. Esquema de las etapas para la fabricación de ladrillos



Fuente: "Etapas y equipos del proceso". UIS-IDEAM. Disponible: http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/369102/369102_ee.htm

En la figura 2 se presenta un esquema representativo del análisis del ciclo de vida de la fabricación de ladrillos, en el cual se puede apreciar el flujo de entrada y de salida a los procesos que se llevan a cabo para obtener el producto final.

Figura 2. Representación del análisis de ciclo de vida de la fabricación de ladrillos.



2.3 EL HORNO TÚNEL

El horno túnel es un tipo de horno continuo caracterizado por el desarrollo ininterrumpido de la calcinación y la posibilidad de efectuar las diferentes etapas sin variar el ritmo de la producción. Son de hogar fijo moviéndose las piezas a calcinar en vagones que recorren lentamente el horno desde un extremo al otro. Presenta considerables ventajas técnicas, económicas y ambientales, promoviendo una reducción en la demanda de energía térmica, aumento de la proporción de productos de primera calidad, reducción del costo de la mano de obra, aumento de

la velocidad de producción, menores emisiones comparados con otros tipos de hornos de calcinación.

A lo largo del horno túnel se pueden apreciar tres zonas principales, las cuales son:

- **Zona de precalentamiento:** Es la zona donde se inicia el ingreso de los ladrillos previamente secos, alcanzando una temperatura de hasta unos 300°C, este precalentamiento se da por el paso en contracorriente de gases calientes de la combustión provenientes de la calcinación.
- **Zona de calcinación:** En esta zona están ubicados los quemadores y la temperatura del producto pasa de 300°C a 950°C.
- **Zona de enfriamiento:** Los productos inician el ciclo de enfriamiento hasta la salida del horno.

En la figura 3 se puede observar la esquematización de un horno túnel, en donde se detalla claramente las 3 zonas predominantes del sistema al interior del horno, la ubicación de los quemadores en la zona de calcinación, la dirección del movimiento de las vagonetas y gases.

Figura 3. Esquema general de un horno túnel.



Fuente: "Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera". Programa de eficiencia energética en ladrilleras de América Latina para mitigar el cambio climático. 2015. Disponible: <http://www.redladrilleras.net/capacitaciones/pdf/es/Manual-de-hornos-eficientes.pdf>

2.4 DIAGRAMA DE OSTWALD Y DIAGRAMA DE SANKEY

El diagrama de Ostwald es una representación gráfica de un proceso de combustión, para un determinado combustible, permitiendo efectuar cálculos de una manera rápida y precisa. Cuando se ha desarrollado el diagrama para el combustible, mediante un análisis de humos y conociendo el porcentaje de uno de los tres elementos representados ($\%CO_2$, $\%CO$, $\%O_2$) se podrá saber la composición de los demás gases de combustión. De los valores de CO_2 , CO , O_2 y exceso de aire se puede deducir si la combustión tiene lugar en buenas o en malas condiciones.

El diagrama de Sankey es un tipo específico de diagrama de flujo que muestra un balance energético a un sistema térmico de combustión, a manera de franjas o flechas (caudales) que representan según su anchura la cantidad de energía correspondiente y según su dirección el destino final de esa energía.

2.5 ¿CÓMO SE DETERMINA LA HUELLA DE CARBONO EN LA INDUSTRIA?

La huella de carbono es una información guía que nos proporciona datos muy importante del impacto humano sobre los sistemas naturales; se presenta como un indicador para poder medir el calentamiento global. La huella de carbono abarca los GEI por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto y es medido en unidades equivalentes de dióxido de carbono (CO_2 eq).

Los diferentes gases de efecto invernadero poseen propiedades radiactivas y un determinado tiempo de permanencia en la atmósfera, por eso cada uno de estos gases difieren en la influencia sobre el calentamiento global, por lo que hay que transformarlos a una medida métrica común, el cual se obtiene multiplicando la cantidad de energía de determinado proceso por un factor de emisión suministrado por entidades ambientales. La gran mayoría de los proyectos que surgen de la

necesidad de medir la huella de carbono de un producto o sistema, no sólo tienen como objetivo el cálculo de las emisiones de GEI, sino que también han de establecer medidas de reducción o compensación de dichas emisiones.

Fórmula general del cálculo de la huella de carbono

$$\text{Kilogramos equivalentes de CO}_2 = \text{Factor de emisión} \times \text{Cantidad} \quad (1)$$

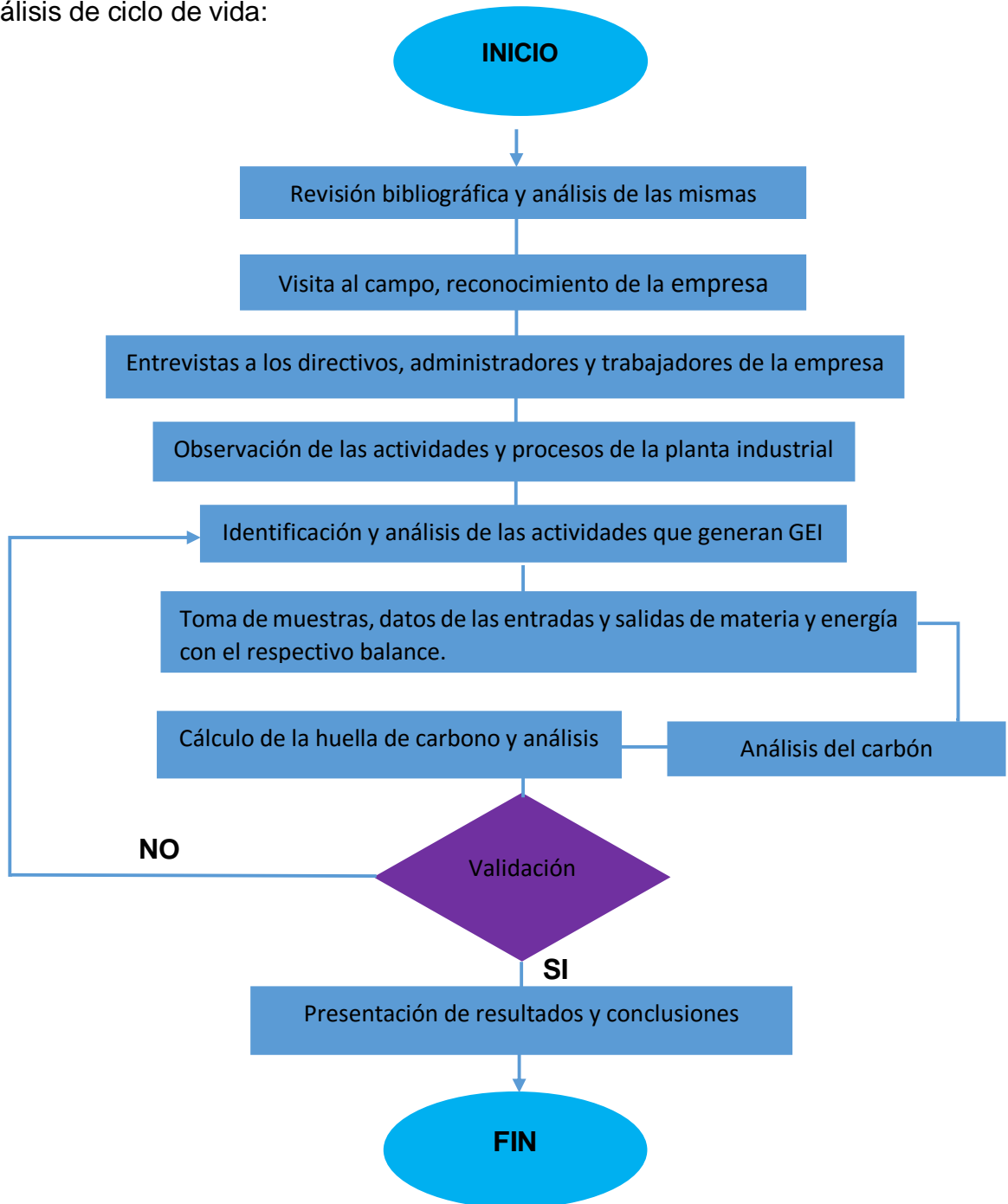
Donde:

El factor de emisión es una relación entre la cantidad de un contaminante o material específico descargada a la atmósfera y una unidad de actividad obtenidos de una tabla que fueron determinados por organismos e instituciones (Ver anexo D y E).

La cantidad son los datos de las actividades

3 METODOLOGÍA

A continuación se presenta la metodología usada para la realización de este proyecto, la cual fue necesaria diseñar para alcanzar los objetivos planteados para la determinación de la huella de carbono de la empresa ladrillera El Zipa, mediante análisis de ciclo de vida:



- **Revisión bibliográfica y análisis de las mismas:** Durante la realización del proyecto se hizo una revisión en las diferentes fuentes bibliográficas tales como libros, revistas, artículos científicos, tesis de grado y recursos electrónicos referente al tema de investigación sobre la huella de carbono en las industrias mediante su análisis de ciclo de vida, al igual que su importancia y su aplicación en la industria ladrillera.

- **Visita al campo, reconocimiento de la empresa:** Se visitó la empresa en varias ocasiones con el fin de obtener la suficiente información para la ejecución del proyecto.

- **Entrevistas a los directivos, administradores y trabajadores de la empresa:** Se dialogó con el gerente general de ladrillos El Zipa, el señor Mauricio Iguavita, el jefe de planta el señor Fabio Monroy, la encargada de la parte de seguridad y salud de la empresa la señora Diana parra, así como algunos trabajadores encargados del proceso de fabricación de los productos arcillosos; esto fue realizado con el fin de conocer más a fondo el funcionamiento de la empresa, permitiendo obtener una mayor información para facilitar el cálculo de la huella de carbono.

- **Observación de las actividades y procesos de la planta industrial:** En esta etapa se observó cómo se llevan a cabo las diferentes actividades que involucran la producción del producto arcilloso.

- **Identificación y análisis de las emisiones que generan GEI:** Luego de la observación de las diferentes actividades realizadas en la empresa, se procedió a identificar los distintos procesos en donde se encuentran las emisiones de gases GEI, y así analizar los factores influyentes durante su emisión.

- **Toma de muestras, datos de las entradas y salidas de materia y energía con en el respectivo balance:** Se registraron la cantidad de materia prima que ingresó al proceso y a la posterior salida de la misma para cada etapa, con el objetivo de realizar el respectivo balance de masa y energía. Se tomó una muestra del carbón utilizado en la empresa ladrillera El Zipa, que es empleado como combustible en la calcinación de los productos arcillosos.

Figura 4. Carbón apilado en patio de la empresa ladrillera El Zipa.



➤ **ANÁLISIS DEL CARBÓN**

Material objeto de estudio: El material utilizado para el estudio fue una muestra representativa del carbón sólido proporcionado por la empresa ladrillera El Zipa, el cual sirve como combustible para la calcinación de los productos arcillosos utilizado en el horno túnel. Se tomaron varias muestras para su posterior caracterización.

Preparación de la muestra de carbón: Para la preparación de la muestra de carbón se tuvieron que pulverizar varias muestras de carbón sólido (4 carbones, seleccionados directamente de los depósitos de carbón de la empresa ladrillera El Zipa), esto se realizó en el molino de mortero previamente limpio con una duración de molienda de 6 minutos. Este material fue tamizado pasándolo a través de la malla

número 100 (tamaño de partícula de 0,038mm) para que la muestra tuviera un tamaño de partícula homogéneo. Es requerido en forma de polvo por la norma ASTM para poder realizar el correspondiente estudio de caracterización.

Con la muestra pulverizada y tamizada previamente se procedió a realizar la caracterización del carbón, tomando para cada ensayo realizado un gramo de muestra.

Caracterización del carbón: Con el fin de evaluar la calidad del carbón usado en la empresa ladrillera El Zipa, se llevó a cabo un estudio en el laboratorio de pirometalurgia de la escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales en la Universidad Industrial de Santander, para ello se realizó la caracterización del carbón y se estudiaron características tales como: humedad, cenizas, materia volátil, poder calorífico, índice de hinchamiento y cantidad de azufre total, y se tomaron dos medidas por cada característica estudiada.

Se calculó el porcentaje de humedad del carbón tomando aproximadamente un gramo de muestra tamizada y registrando datos de pesos. Para ello se pesó un crisol vacío en una balanza digital el cual había pasado anteriormente por el horno de secado y por el desecador por un tiempo de 20 y 5 minutos respectivamente, luego se agregó al crisol una cantidad de un gramo de muestra de carbón y se pesaron, posteriormente se colocaron en un horno de secado a una temperatura de 110°C durante una hora. Después se pesó en la balanza.

Para el cálculo del porcentaje de cenizas se pesó nuevamente un crisol vacío, un crisol más la muestra de carbón de un gramo aproximadamente y finalmente se pesó luego de haber pasado por el horno de mufla a una temperatura de 750°C durante una hora.

Se determinó el porcentaje de materia Volátil con la ayuda de una balanza digital para pesar un crisol vacío con su respectiva tapa, luego se pesó en ese mismo crisol un gramo de carbón aproximadamente, después se ingresó al horno de mufla a una temperatura de 910°C durante 7 minutos, a continuación se retiró el crisol del horno y se dejó reposar en un ladrillo refractario para después realizar la correspondiente medida de peso.

Para la determinación del poder calorífico del carbón se pesó un gramo de este en un crisol de cuarzo, posteriormente se colocó el crisol sobre el soporte de la bomba calorimétrica colocando alambre fusible de 10 cm en los electrodos de la bomba; luego se cerró la bomba y se adicionó oxígeno a 30 atmosferas de presión. A continuación se ensambló el recipiente calorimétrico estabilizando la temperatura para tomar lectura inicial de ella en el termómetro (T_a), luego se provocó la ignición de la muestra de carbón y se tomó la temperatura de estabilización (T_c). Se retiró el oxígeno, se removió la bomba y se procedió al lavar el crisol junto con el interior de la bomba calorimétrica (la cual contiene metil-naranja) con agua destilada. El líquido de lavado de la bomba se agregó en un vaso de precipitado de 250 ml y después se tituló con solución estándar de Na_2CO_3 para la corrección ácida, esta solución usada fue medida. Se midió el sobrante del alambre final del proceso, el cual no se quemó.

El índice de hinchamiento del carbón se determinó pesando un gramo de carbón en un crisol seco, se niveló golpeándolo sobre una superficie sólida y a continuación se procedió a tapar el crisol, se ingresó el crisol en el horno de mufla a una temperatura de 910°C durante 4 minutos aproximadamente, transcurrido este tiempo se retiró y se dejó enfriar. Finalmente se extrajo el botón de carbón formado en el crisol durante el proceso.

La cantidad de azufre total en el carbón fue la última característica que se determinó, y se realizó como continuación de la prueba de poder calorífico, para ello, se tomó

la solución titulada con Na_2CO_3 y se agregó 1 ml de NH_4OH , después se calentó hasta que hiciera ebullición y se filtró en papel cualitativo, luego se lavó el residuo con agua caliente hasta una cantidad de 250 ml aproximadamente. Posteriormente se adicionó agua saturada de bromo ligeramente acidificada con HCl y se hirvió para poder eliminar el bromo liberado. Se neutralizó con Na_2CO_3 usando metil naranja como indicador y se adicionó 1 ml de HCl . Se hirvió nuevamente adicionando de manera lenta con una pipeta de 10 ml de solución de BaCl_2 , continuando con dicha ebullición durante 15 minutos aproximadamente y dejando en reposo por 2 horas. Se filtró en papel cualitativo y se lavó el BaSO_4 con agua caliente, en seguida de esto se puso el filtro mojado con el BaSO_4 en un crisol. Más adelante se secó y se incineró el papel gradualmente en un horno de mufla, esto sin que se produjera llama subiendo la temperatura a 950°C , después se dejó media hora en reposo para su enfriamiento y medición de su peso.

Evaluación de las características del carbón: Finalmente se evaluó de manera cuantitativa y cualitativamente los resultados obtenidos de la caracterización del carbón, realizando los respectivos cálculos y la correspondiente clasificación del carbón según la norma ASTM D-388.

- **Cálculo y análisis de la huella de carbono:** Se calculó la huella de carbono con la respectiva información obtenida en la empresa basados en normas internacionales.
- **Validación:** Luego de haber realizado el cálculo de la huella de carbono se procedió a hacer la respectiva validación del proceso.
- **Presentación de resultados y conclusiones:** Como etapa final se presentaron los resultados logrados durante la realización del proyecto, así mismo se hicieron las respectivas conclusiones que permitieron obtener de forma general lo realizado en la empresa.

4 RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN UTILIZADO EN LADRILLOS EL ZIPA

A continuación se presenta cada una de las características estudiadas al carbón utilizado como combustible en la empresa ladrillera El Zipa para la realización de sus productos arcillosos:

4.1.1 Humedad presente en el carbón. En la tabla 1 se observan los valores en gramos medidos en el laboratorio en una balanza digital para un crisol vacío, un crisol más la muestra de carbón antes y después de llevarlos al horno de secado con la finalidad de determinar el porcentaje de humedad del carbón.

Tabla 1. Valores medidos para la determinación del porcentaje de humedad del carbón empleado en ladrillos El Zipa

	Crisol vacío	Crisol + muestra de carbón	Peso del crisol + muestra después de llevada al horno
Peso [gr]	18,4859	19,4857	19,4507
	18,4959	19,4958	19,4697

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P2 - P3}{P2 - P1} * 100$$

Donde:

P1 = Peso del crisol vacío con tapa [gr]

P2 = Peso del crisol y carbón antes del secado [gr]

P3 = Peso del crisol y carbón después del secado [gr]

Porcentaje de humedad para la primera medida realizada

$$\% \text{ Humedad } 1 = \frac{19,4857 - 19,4507}{19,4857 - 18,4859} * 100 = 3,501\%$$

Porcentaje de humedad promedio de las medidas realizadas

$$\% \text{ Humedad promedio} = \frac{3,501\% + 2,610\%}{2} = 3,056\%$$

Según los cálculos realizados con base a las medidas y procedimientos ejecutados, el carbón presentó un porcentaje de humedad del 3,056%; este porcentaje es un promedio realizado con base a dos medidas hechas para una misma muestra de carbón y representa el peso perdido al calentar la muestra en el horno de secado. El porcentaje de humedad promedio en el carbón es un valor bajo, siendo una gran ventaja porque permite que su extracción sea mejor ya que se generaría menor gasto energético debido a su peso (la humedad es peso adicional) y requeriría menor calor para eliminarla, así mismo favorece la molienda impidiendo las posibles aglomeraciones, sumado a esto el poseer menor humedad se podrá conseguir relativamente una mayor cantidad de carbono fijo.

4.1.2 Cenizas presentes en el carbón. En la tabla 2 se presentan los valores en gramos medidos en el laboratorio en una balanza digital para un crisol vacío, un crisol más la muestra de carbón antes y después de llevarlos al horno de mufla para poder determinar el porcentaje de cenizas del carbón.

Tabla 2. Valores medidos para la determinación del porcentaje de cenizas del carbón empleado en ladrillos El Zipa

	Crisol vacío	Crisol + muestra de carbón	Peso del crisol + muestra después de llevada al horno
Peso [gr]	18,0473	19,0529	18,1064
	18,1734	19,1836	18,1942

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P3 - P1}{P2 - P1} * 100$$

Donde:

P1 = Peso del crisol vacío con tapa [gr]

P2 = Peso del crisol y carbón antes de la calcinación [gr]

P3 = Peso del crisol y carbón después de la calcinación [gr]

Porcentaje de cenizas para la primera medida realizada

$$\% \text{Cenizas 1} = \frac{18,1064 - 18,0473}{19,0529 - 18,0473} * 100 = 5,877\%$$

Porcentaje de cenizas promedio de las medidas realizadas

$$\% \text{ Cenizas promedio} = \frac{5,877\% + 2,059\%}{2} = 3,968 \%$$

Después de haber sometido la muestra a una temperatura de 750°C durante una hora, apareció un residuo sólido denominado cenizas, y es debido al proceso de combustión de la materia orgánica presente en el carbón.

La cantidad de cenizas que presentó el carbón fue de 3,968% y este valor define la calidad del carbón en la combustión. Al aumentar el contenido en cenizas, menor será la calidad del carbón, menor será su poder calorífico y mayores serán los sobrecostos de manipulación y tratamiento, por lo tanto el valor que arrojó la muestra de carbón es aceptable considerándose carbón de alta calidad y como se verificará más adelante su poder calorífico comprueba su contenido de cenizas, por lo que son coherentes los resultados.

4.1.3 Materia volátil presente en el carbón. En la tabla 3 se muestran los valores en gramos medidos en el laboratorio en una balanza digital para un crisol vacío, un crisol más la muestra de carbón antes y después de llevarlos al horno de mufla para poder determinar el porcentaje de materia volátil del carbón.

Tabla 3. Valores medidos para la determinación del porcentaje de materia volátil del carbón empleado en ladrillos El Zipa

	Crisol vacío	Crisol + muestra de carbón	Peso del crisol + muestra después de llevada al horno
Peso [gr]	24,0537	25,0593	24,6788
	20,3785	21,3778	20,9565

$$\% \text{ Peso perdido} = \frac{P2 - P3}{P2 - P1} * 100$$

Donde:

P1 = Peso del crisol vacío con tapa [gr]

P2 = Peso del crisol y carbón antes de la calcinación [gr]

P3 = Peso del crisol y carbón después de la calcinación [gr]

Porcentaje de peso perdido para la primera medida realizada

$$\% \text{ Peso perdido 1} = \frac{25,0593 - 24,6788}{25,0593 - 24,0537} * 100 = 37,838\% = C$$

Porcentaje de materia volátil para la primera medida realizada

D = % de Humedad

$$\% \text{ Materia Volátil 1} = C - D = 37,838\% - 3,056\% = 34,782\%$$

Porcentaje de materia volátil promedio de las medidas realizadas

$$\% \text{ Materia Volátil promedio} = \frac{34,782\% + 39,104\%}{2} = 36,943\%$$

El carbón presentó un porcentaje de materia volátil de 36,943%, valor promedio tomado de las dos medidas realizadas a la muestra estudiada. Este contenido de materia volátil constituye una importante propiedad debido a que proporciona una indicación de su reactividad y facilidad de ignición, es decir que sirve para establecer las características de combustión. El contenido de materia volátil del carbón estudiado representó la pérdida de peso de la muestra bajo las condiciones del ensayo, el cual fue realizado a una temperatura del horno de mufla de 910°C y con una duración de 7 minutos aproximadamente. Este porcentaje de materia volátil representa un valor alto, lo que indica que arden rápidamente y tienen una buena estabilidad de llama, además de esto pueden provocar ciertos problemas en la molienda por la aparición de igniciones espontáneas.

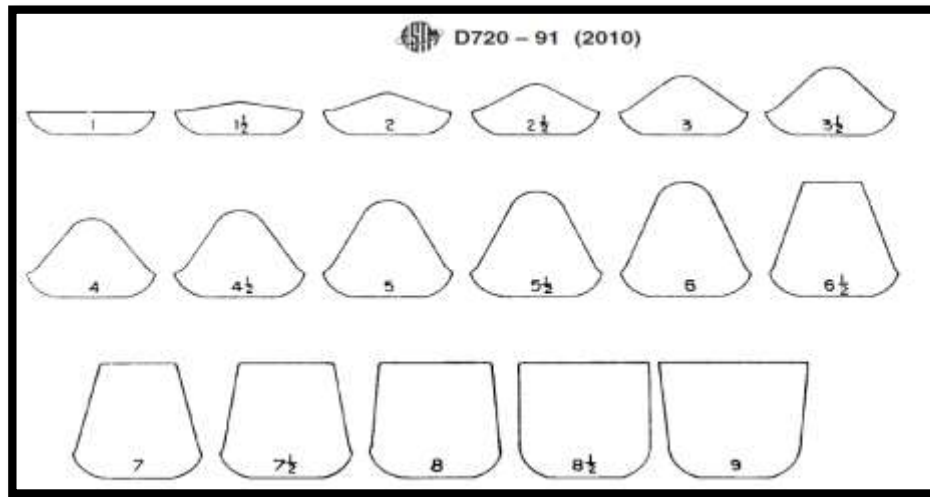
4.1.4 Determinación del índice de hinchamiento. En la figura 5 se muestra el perfil del botón de carbón que se obtuvo por el calentamiento de una muestra en un crisol, esto se realizó para poder determinar el índice de hinchamiento, el cual es un indicador del comportamiento del carbón cuando éste se calienta, permitiendo mostrar las propiedades de aglomeración cuando se quema como combustible y así mismo poder ser utilizado como una señal general del grado de oxidación del carbón.

Figura 5. Perfil del botón de carbón



En la figura 6 se muestra una escala completa de los perfiles estándares y sus respectivos índices de hinchamiento, según la norma ASTM D720, esto con el fin de realizar una comparación con el perfil del carbón estudiado.

Figura 6. Escala completa de perfiles estándar y sus correspondientes índices de hinchamiento, según la Norma ASTM D720.



Fuente: Norma ASTM D720

Comparando la figura 5 con la escala de perfiles estándar, se puede visualizar que el carbón presenta el perfil 1. El residuo de coque es coherente pero no está hinchado, luego de ponerlo sobre una superficie plana y colocarle un peso de 500 gr no presentó fractura, por lo tanto se verifica que el índice de hinchamiento es 1. Así mismo se pudo comprobar que al momento de someter el botón a una caída libre no se fragmentó, lo cual indica que posee alta resistencia. El carbón no logró formar una parte sobresaliente o menisco, reflejando un botón sin buenas propiedades de aglomeración.

4.1.5 Determinación del poder calorífico. En la tabla 4 se observan los valores en gramos, grados centígrados, milímetros y mililitros Na_2CO_3 usados; estos fueron tomados en el laboratorio para la determinación del poder calorífico del carbón.

Tabla 4. Valores medidos para la determinación del poder calorífico del carbón empleado en ladrillos El Zipa

Peso de crisol vacío de cuarzo [gr]	Peso de crisol + muestra de carbón [gr]	T_a [°C]	T_c [°C]	Alambre quemado [mm]	ml de Na_2CO_3 usados
5,4406	6,4422	26,73	29,37	57	7,1
5,4457	6,4467	25,82	28,6	47	8,8

$$Q = \frac{\Delta T * C - e1 - e2 - e3}{m}$$

Donde:

$$Q = \text{Poder calorífico} \left[\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}} \right]$$

$$\Delta T = \text{Incremento de temperatura. } T_c - T_a \text{ [°C]}$$

$$c = \text{Capacidad térmica del calorímetro. } 5088,366 \left[\frac{\text{BTU} * \text{gr}}{\text{Lb} * \text{°C}} \right]$$

$$m = \text{Peso de la muestra [gr]}$$

$$e1 = \text{Calor de combustión del algodón}$$

$$= 7524 * \text{peso del algodón usado} \left[\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}} * \text{gr} \right]$$

$$e2 = \text{Calor de combustión del alambre fusible Ni - Cr}$$

$$= 0,41 * \text{alambre quemado} \left[\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}} * \text{gr} \right]$$

$$e3 = \text{Calor de formación del ácido sulfúrico}$$

$$= 10,0 * \text{ml de } \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ (0,394N) usados} \left[\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}} * \text{gr} \right]$$

Poder calorífico para la primera medida realizada

$$\Delta T = T_c - T_a = 29,37 - 26,73 = 2,64 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m = 6,4422 - 5,4406 = 1,0016 \text{ gr}$$

$$e_1 = 0 \left[\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}} * \text{gr} \right]$$

$$e_2 = 0,41 * 57 = 23,37 \left[\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}} * \text{gr} \right]$$

$$e_3 = 10,0 * 7,1 = 71 \left[\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}} * \text{gr} \right]$$

$$Q_1 = \frac{2,64 * 5088,366 - 23,37 - 71}{1,0016} = 13317,608 \left[\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}} \right]$$

Poder calorífico promedio de las medidas realizadas

$$Q \text{ promedio} = \frac{13317,608 + 14024,36}{2} = 13670,984 \left[\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}} \right]$$

El carbón presentó un poder calorífico de 13670,984 [BTU/Lb] y representa la energía desprendida de la reacción de combustión del carbono e hidrógeno. Esta propiedad determinada se realizó en una bomba gravimétrica mediante el cálculo de las diferencias de temperatura antes y después de que se produjera la combustión de la muestra y por medio de la medición de la cantidad de calor producido a través de la energía térmica ganada por un líquido conocido (agua), que de acuerdo al método a utilizar, puede estar contenida en un recipiente, o permanece en continua circulación durante el proceso. En un proceso ideal se debe cumplir que el calor liberado por el carbón debe ser igual al calor adquirido por el agua.

Cantidad de azufre total presente en el carbón. En la tabla 5 se visualizan los valores en gramos medidos en el laboratorio en una balanza digital para un crisol vacío y un crisol más la muestra de carbón después de llevarlos al horno para poder determinar el porcentaje de azufre.

Tabla 5. Valores medidos para la determinación del porcentaje de azufre del carbón empleado en ladrillos El Zipa

	Crisol vacío	Peso del crisol + muestra después de llevada al horno
Peso [gr]	19,1467	19,1807
	18,5227	18,5888

$$\% \text{Azufre} = \frac{(A - B) * 13,738}{M}$$

Donde:

A = BaSO₄ pesado en la determinación [gr]

B = BaSO₄ pesado en el blanco. 0,000624 [gr]

M = Peso de la muestra [gr]

Porcentaje de azufre para la primera medida realizada

A = Peso después de llevada al horno – Peso del crisol vacío

$$= 19,1807 - 19,1467 = 0,034 \text{ [gr]}$$

$$\% \text{Azufre} = \frac{(0,034 - 0,000624) * 13,738}{1} = 0,459\%$$

Porcentaje promedio de azufre de las medidas realizadas

$$\% \text{Azufre promedio} = \frac{0,459\% + 0,900\%}{2} = 0,680\%$$

El porcentaje de azufre en el carbón fue de 0,680%, es el valor promedio de las dos medidas realizadas para una misma muestra de carbón y representa un valor bajo

lo cual es favorable para el medio ambiente, debido a que es considerado una de las impurezas más preocupantes y problemáticas, pudiendo generar compuestos corrosivos como las escorias, formando gases venenosos que contaminan el medio ambiente.

4.1.7 Determinación del carbono fijo

% Carbono Fijo = 100% – %Humedad – %Cenizas – %Materia Volátil – %Azufre

% Carbono Fijo = 100% – 3,056% – 3,968% – 36,943% – 0,680 = 55,353%

El porcentaje de carbono fijo es un valor alto y esta cantidad representa la parte no volátil que se quema en estado sólido. Se determinó restándole toda la cantidad de materia incombustible del carbón tales como humedad, materia volátil, cenizas y azufre.

El porcentaje de carbono fijo fue de 55,353%, y dicho valor está clasificado como carbón bituminoso que se caracteriza principalmente por ser de gran empleo durante a fabricación de aceros y como combustible en las industrias.

En la tabla 6 se resumen los resultados obtenido de todas las características medidas del carbón utilizado como combustible en la empresa ladrillera El Zipa.

Tabla 6. Resumen de las características medidas del carbón empleado en ladrillos El Zipa

Humedad	3,056%
Cenizas	3,968%
Materia Volátil	36,943%
Índice de hinchamiento	1
Poder calorífico	13670,984 [BTU/Lb]
Contenido de azufre total	0,680%
Carbono Fijo	55,353%

En la tabla 7 se observa la clasificación de los carbones por rango basados en la norma ASTM D388, con el fin de determinar el tipo de carbón estudiado según los resultados de los cálculos realizados de las características.

Tabla 7. Clasificación de carbones por rango según la norma ASTM D 388

Clase/Grupo	Límites de Carbono Fijo		Límites de Materia Volátil		Límites de Poder Calorífico			
	%		%		%, (Base húmeda libre de materia mineral)			
	Igual o mayor que	Igual o menor que	Igual o mayor que	Igual o menor que	Btu/Lb	Mj/Kg		
Antracita:								
Metaantracita	98	...	...	2	...	...	...	...
Antracita	92	98	2	8	...	...	...	...
Semiantracita	86	92	8	14	...	...	...	...
Bituminoso:								
Bajo Volátil	78	86	14	22	...	...	...	...
Medio Volátil	69	78	22	31	14000	...	32,6	...
Alto Volátil A	...	69	31	...	13000	14000	30,2	32,6
Alto Volátil B	...	...	...	...	11500	13000	26,7	30,2
Alto Volátil C	...	...	...	...	10500	11500	24,4	26,7
Subbituminoso								
Subbituminoso A	...	...	...	...	10500	11500	24,4	26,7
Subbituminoso B	...	...	...	...	9500	10500	22,1	24,4
Subbituminoso C	...	...	...	...	8300	9500	19,3	22,1
Lignito:								
A	...	...	...	...	6300	8300	14,7	19,3
B	...	...	...	...	...	6300	...	14,7

Fuente: Norma ASTM D 388

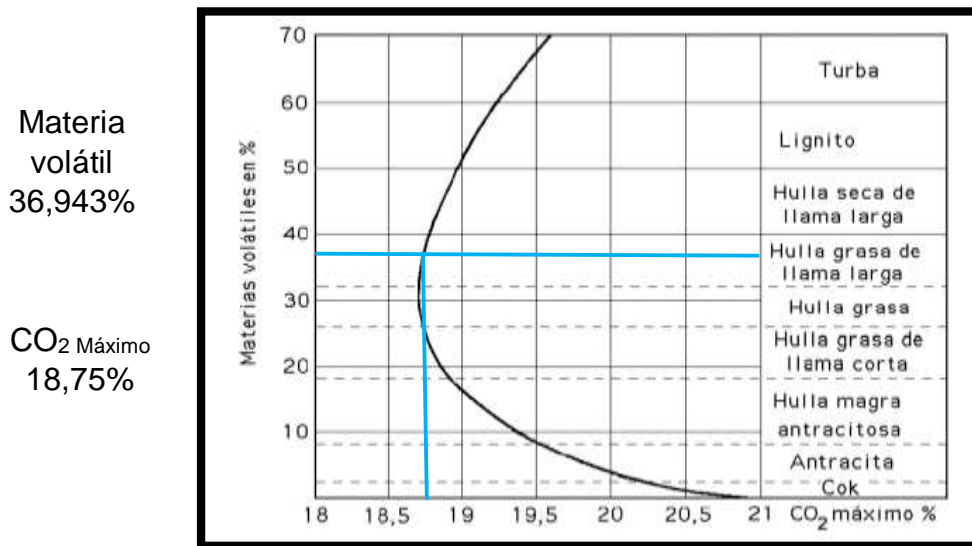
Después de haber realizado la evaluación de cada una de las características del carbón tales como humedad, cenizas, materia volátil, índice de hinchamiento, poder calorífico, azufre y su contenido de carbono fijo, se hizo su respectiva identificación por medio de la norma ASTM D 388 (tabla 7) y se infiere que el carbón utilizado en la empresa ladrillera El Zipa como combustible es un carbón bituminoso de alta volatilidad tipo A debido a que se encuentra en el rango de poder calorífico de

13000 a 14000 BTU/lb, con un porcentaje de carbono fijo inferior al 69% presentando una materia volátil superior al 31%. Por su forma de uso se conocen como carbones térmicos por su mayor generación de energía siendo eficientes y presentando menor contaminación por su bajo contenido de azufre, así mismo su gran poder calorífico favorece el proceso de calcinación.

4.2 APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE OSTWALD

Con la cantidad de materia volátil del carbón estudiado se pudo determinar el CO₂ máximo con la gráfica auxiliar de Schultes, que se utilizará en el diagrama de Ostwald.

Figura 7. Gráfica auxiliar de Schultes para la determinación del CO₂ máximo.



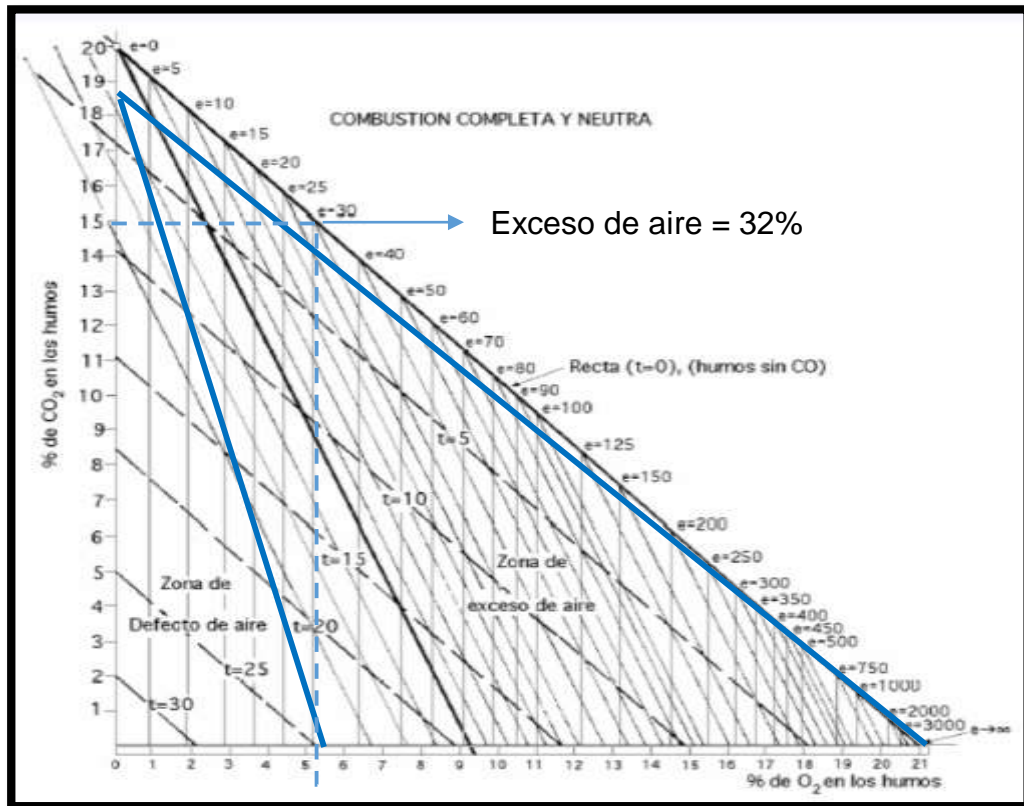
Materia volátil
36,943%

CO₂ Máximo
18,75%

Fuente: Díez Fernández, P. Combustión. Disponible: <http://files.pfernandezdiez.es/Termodinamica/PDFs/16Termod.pdf>

De acuerdo a la figura 7 se pudo determinar que a una cantidad de materia volátil del 36,943% representa una hulla grasa de llama larga, quiere decir un carbón bituminoso y el nivel de CO₂ máximo que se genera es 18,75% en combustión normal.

Figura 8. Diagrama de Ostwald para el carbón bituminoso de alta volatilidad tipo A, utilizado como combustible en la empresa ladrillera El Zipa.

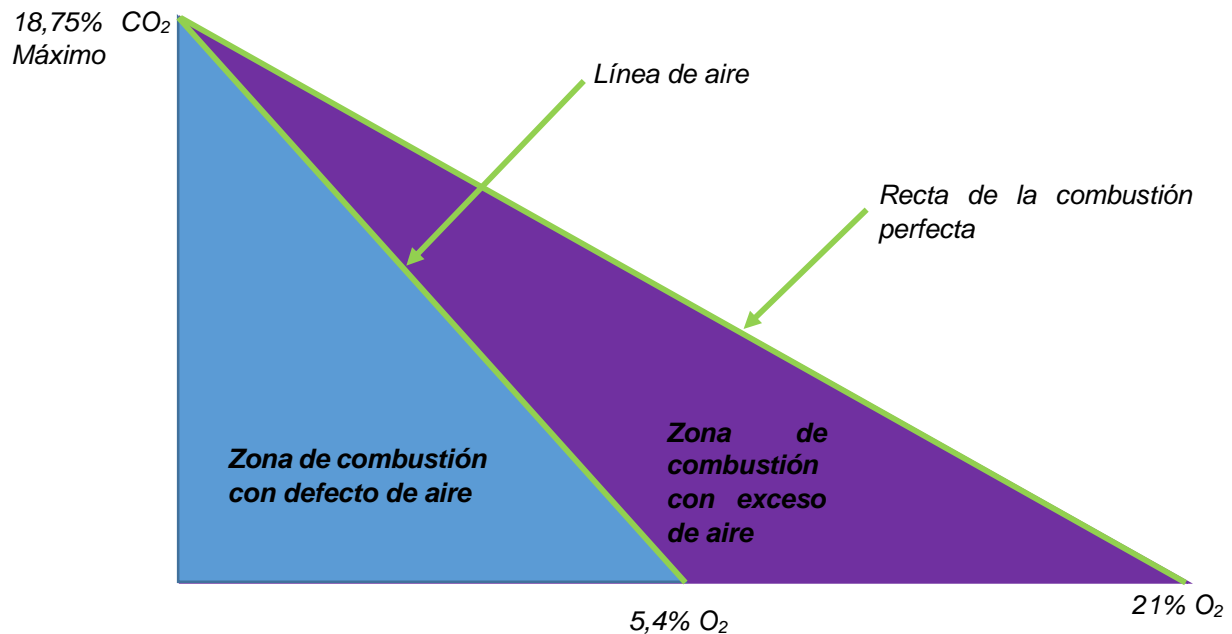


Fuente: "Combustión". Escuela Superior Politécnica del Litoral. Disponible: <http://www.cdts.espol.edu.ec/documentos/apuntes%20de%20combustion.pdf>

Modificado por Autores

Todo el oxígeno del aire con contenido del 21% en volumen forma un volumen igual de CO_2 , de este modo se deduce que el % máximo teórico de CO_2 en los humos es del 21%.

Con el porcentaje de CO_2 máximo y los valores de O_2 , CO_2 y CO expulsados por el horno túnel se afirma que la combustión es completa, llevándose a cabo con un 32% de exceso de aire.



Fuente: "Combustión". Escuela Superior Politécnica del Litoral. Disponible: <http://www.cdts.espol.edu.ec/documentos/apuntes%20de%20combustion.pdf>
Modificado por Autores

4.3 CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

Para determinar la huella de carbono se tuvieron tres aspectos: el consumo de energía eléctrica de los equipos que participan en el proceso de fabricación de los productos arcillosos y de la parte administrativa, el consumo de combustible utilizados externamente en la empresa tanto vehículos para carga de los productos como los que utilizan los trabajadores y finalmente las emisiones que expulsa el horno túnel mediante muestreo isocinético.

Tabla 8. Valores de consumo eléctrico de los equipos empleados en los procesos de elaboración de un ladrillo

Procesos	Consumo [Kwh]
Trituración y Molienda	90,975
Extrusión	199,848
Secado	49,216
Calcinación	35,048

Fuente: Datos consultados de la empresa ladrillera El Zipa

Tabla 9. Consumo y tipo de combustible de los vehículos utilizados en la empresa ladrillera.

Cantidad	Tipo de vehículo	Tipo de combustible	Consumo [GPD]
5	Camionetas	Gasolina Corriente	5
8	Camiones	ACPM Diésel	12

Fuente: Datos consultados de la empresa ladrillera El Zipa

GPD: Galones por día

Cálculo de CO₂ eq en kilogramos generado por el consumo eléctrico de los equipos de producción

Kg CO₂ = Factor de emisión x Cantidad de la actividad

$$\begin{aligned}
 \text{Kg CO}_2 &= 0,175737 \frac{\text{Kg CO}_2}{\text{Kwh}} \times 90,975 \text{ Kwh} = 15,988 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq} \times 24 \text{ horas} \\
 &= 383,712 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq} \text{ diarios}
 \end{aligned}$$

Cálculo de CO₂ eq en kilogramos generado por el consumo eléctrico de los equipos de administración

Consumo eléctrico por parte de la administración = 3,9 Kwh

Kg CO₂ = Factor de emisión x Cantidad de la actividad

$$\begin{aligned} \text{Kg CO}_2 &= 0,175737 \frac{\text{Kg CO}_2}{\text{Kwh}} \times 3,9 \text{Kwh} = 0,6854 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq} \times 10 \text{ horas} \\ &= 6,854 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq} \text{ diarios} \end{aligned}$$

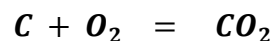
Cálculo de CO₂ eq en kilogramos generado por el consumo y tipo de combustible de los vehículos

Kg CO₂ = Factor de emisión x Cantidad de la actividad

$$\begin{aligned} \text{Kg CO}_2 \text{ (Gasolina corriente)} &= 8,78 \frac{\text{Kg CO}_2}{\text{Gal}} \times 5 \text{ Gal} \\ &= 43,9 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq} \text{ diarios} \end{aligned}$$

$$\text{Kg CO}_2 \text{ (ACPM Diesel)} = 10,21 \frac{\text{Kg CO}_2}{\text{Gal}} \times 12 \text{ Gal} = 122,52 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq} \text{ diarios}$$

Cálculo de CO₂ eq en kilogramos generado por las emisiones expulsadas del horno túnel



$$2700 \text{Kg} \times 0,55353 = 1494,531 \text{ Kg de C}$$

$$1494,531 \text{ Kg de C} \times \frac{1000 \text{gr de C}}{1 \text{ Kg de C}} \times \frac{1 \text{ mol de C}}{12 \text{ gr de C}} = 124,544 \times 10^3 \text{ moles de C}$$

$$124,544 \times 10^3 \text{ moles de C} \times \frac{1 \text{ mol de CO}_2}{1 \text{ mol de C}} = 124,544 \times 10^3 \text{ moles de CO}_2$$

$$124,544 \times 10^3 \text{ moles de CO}_2 \times \frac{44,01 \text{ gr de CO}_2}{1 \text{ mol de CO}_2} = 5,481181 \times 10^6 \text{ gr de CO}_2$$

$$\begin{aligned} 5,481181 \times 10^6 \text{ gr de CO}_2 \times \frac{1 \text{ Kg de CO}_2}{1000 \text{gr de CO}_2} &= 5481,181 \text{ Kg de CO}_2 \times \frac{1 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq}}{1 \text{ Kg CO}_2} \\ &= 5481,181 \text{ Kg de CO}_2 \text{ eq} \end{aligned}$$

El horno túnel presenta una eficiencia térmica del 66%, por tal razón se puede afirmar que el horno desaprovecha su energía en un 34%, la cual es emitida a la

atmosfera, por lo tanto se multiplica por la cantidad de CO₂ eq calculada anteriormente:

$$5481,181 \text{ Kg de CO}_2 \text{ eq} \times 0,34 = 1863,602 \text{ Kg de CO}_2 \text{ eq diarios}$$

Tabla 10. Cantidades de CO₂ eq en Kg para el consumo de energía de los equipos empleados en los procesos de elaboración de un ladrillo

Procesos	Emisión [Kg CO ₂ eq]
Trituración y Molienda	383,712
Extrusión	842,904
Secado	207,576
Calcinación	147,816
TOTAL	1582,008

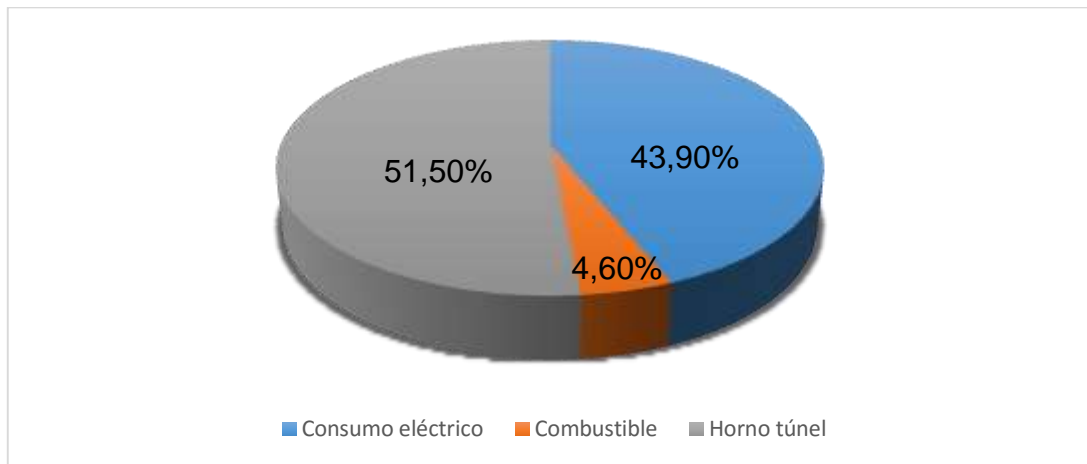
Tabla 11. Cantidades de CO₂ eq en Kg para el consumo y tipo de combustible de los vehículos utilizados en la empresa ladrillera

Cantidad	Tipo de vehículo	Tipo de combustible	Emisión [Kg CO ₂ eq]
5	Camionetas	Gasolina Corriente	43,9
8	Camiones	ACPM Diésel	122,52
TOTAL			166,42

$$\text{Huella de Carbono} = 1582,008 + 6,854 + 1863,602 + 166,42$$

$$= 3618,884 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq diarios} = 3,619 \text{ Tn CO}_2 \text{ eq diarios}$$

Figura 9. Distribución de la cantidad de CO₂ eq emitido por el consumo eléctrico, horno túnel y consumo de combustible

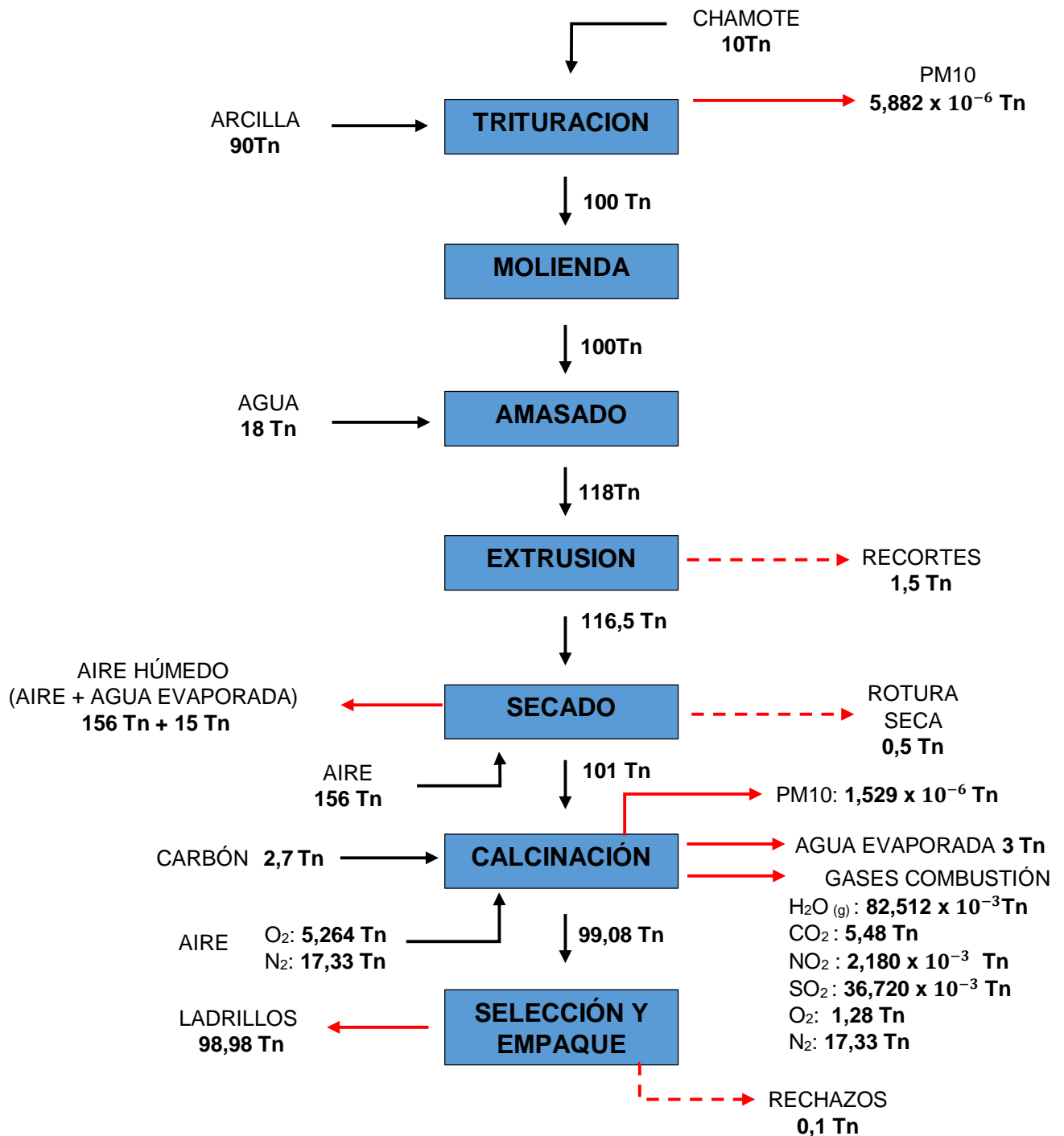


De acuerdo a los datos de consumo eléctrico utilizado en los procesos administrativos y productivos, al consumo y tipo de combustible de los vehículos usados en la empresa y a la cantidad de emisiones expulsadas por el horno túnel se calcularon los respectivos kilogramos de CO₂ equivalentes, los cuales arrojaron una cantidad de 3618,884 Kg CO₂. Del total de emisiones un 43,90 % lo emite el consumo eléctrico, un 51,50 % el horno túnel y un 4,60 % el consumo de combustible.

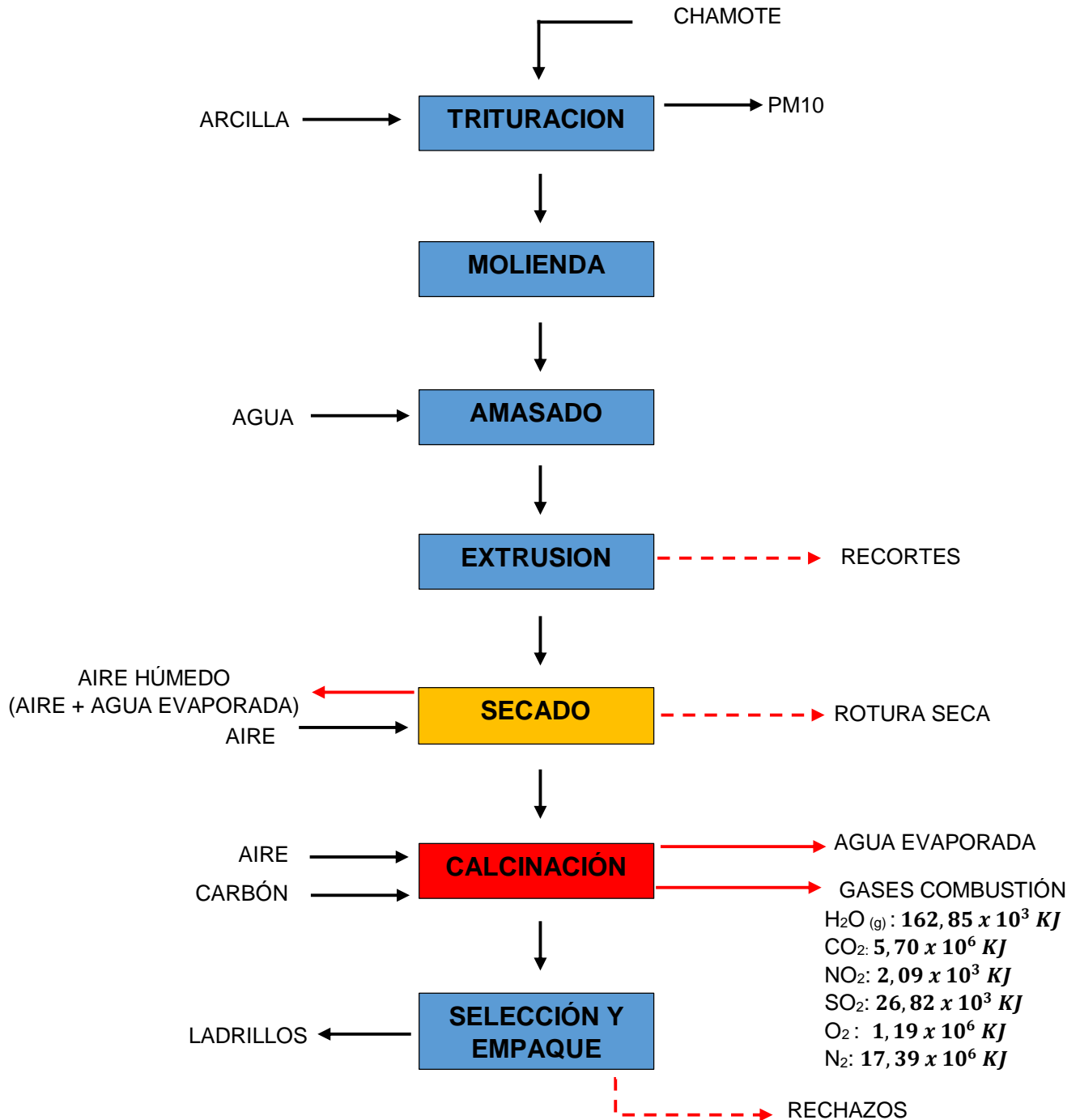
4.4 BALANCE DE MASA EN LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ARCILLOSOS DE LA EMPRESA LADRILLERA EL ZIPA

Inicialmente ingresa a la trituración 90 toneladas de arcilla, 10 toneladas de chamote y de acuerdo al estudio isocinético el material particulado que sale en este proceso es de $5,882 \times 10^{-6}$ toneladas, luego el material pasa por diferentes procesos requiriendo agua, carbón y aire para su funcionamiento, generándose roturas, agua evaporada y gases en la combustión. Finalmente se obtienen una cantidad de 259

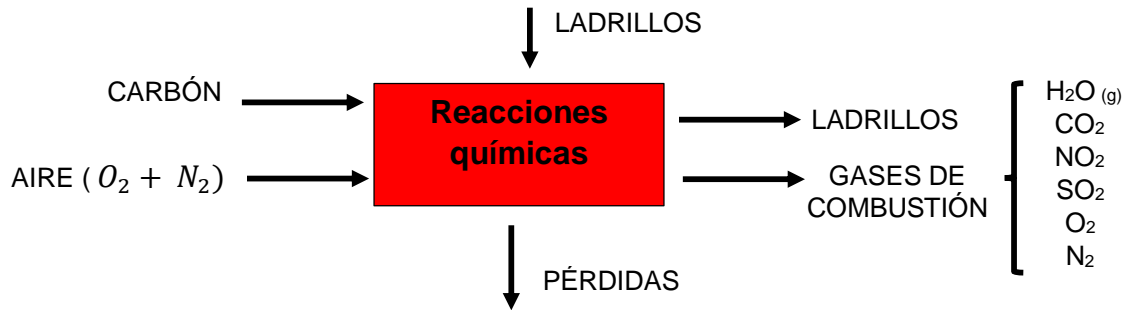
toneladas de ladrillos terminados. Alguno de los datos empleados en dicho balance fueron suministrados por la empresa para la realización de los cálculos necesarios.



4.5 BALANCE DE ENERGÍA EN LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ARCILLOSOS DE LA EMPRESA LADRILLERA EL ZIPA



Balance de energía en el horno



Energía de las Reacciones químicas =

Calor sensible que llevan los ladrillos + Calor sensible de gases de combustión + Pérdidas de calor a través de las paredes del horno

Reacciones químicas en la combustión	Entalpías de formación a 1223°K	Calor sensible a 1223°K
$H_2O_{(l)} = H_2O_{(g)}$	$\lambda_{\text{vaporización}} = 44004 \text{ KJ/Kmol}$	$H - H_o = 35526 \text{ KJ/Kmol}$
$C + O_2 = CO_2(g)$	$\Delta H_f^o = -395098 \text{ KJ/Kmol}$	$H - H_o = 45778 \text{ KJ/kmol}$
$N_2 + 2O_2 = 2NO_2(g)$	$\Delta H_f^o = 32255 \text{ KJ/kmol}$	$H - H_o = 44189 \text{ KJ/Kmol}$
$S + O_2 = SO_2(g)$	$\Delta H_f^o = -361693 \text{ KJ/Kmol}$	$H - H_o = 46753 \text{ KJ/Kmol}$

Con las entalpías de formación de los compuestos a una temperatura de 1223°K, se calculan las entalpías de reacción; y conociendo la cantidad de masa que ingresan en los reactivos se determina su energía en KJ.



$$\Delta H_r^o = n_{\text{Productos}} \times \Delta H_f^o \text{ Productos} - n_{\text{Reactivos}} \times \Delta H_f^o \text{ Reactivos}$$

$$\Delta H_r^o = -395,098 \text{ KJ/mol}$$

$$-395,098 \frac{KJ}{Kmol} \times 1494,531 Kg \text{ de } C \times \frac{1 Kmol CO_2}{12 Kg CO_2} = -49,207 \times 10^6 KJ$$

Sumando todas las energías de reacción se tiene una energía de: $-49,21 \times 10^6 KJ$

Para la determinación de la energía en los gases de combustión se multiplica el calor sensible de los gases por el número de moles dependiendo de la cantidad de masa de salida de los compuestos.

Calor sensible del $CO_2(g)$

$$H - H_o = 45778 KJ/Kmol$$

$$45778 \frac{KJ}{Kmol} \times 5479,76 Kg CO_2 \times \frac{1 Kmol CO_2}{44 Kg CO_2} = 5,70 \times 10^6 KJ$$

Sumando todas las energías de los gases de combustión, incluidos el oxígeno y el nitrógeno se tiene una energía de: $24,47 \times 10^6 KJ$

Calor sensible que llevan los ladrillos

$$Q = m \times C_p \times \Delta T^\circ$$

$$Q = 99080 Kg \times 0,84 \frac{KJ}{Kg^\circ K} \times (423 - 298)^\circ K = 10,40 \times 10^6 KJ$$

*Pérdidas de calor a través de las paredes del horno = Energía de las reacciones químicas
- Calor sensible que llevan los ladrillos + Gases de combustión*

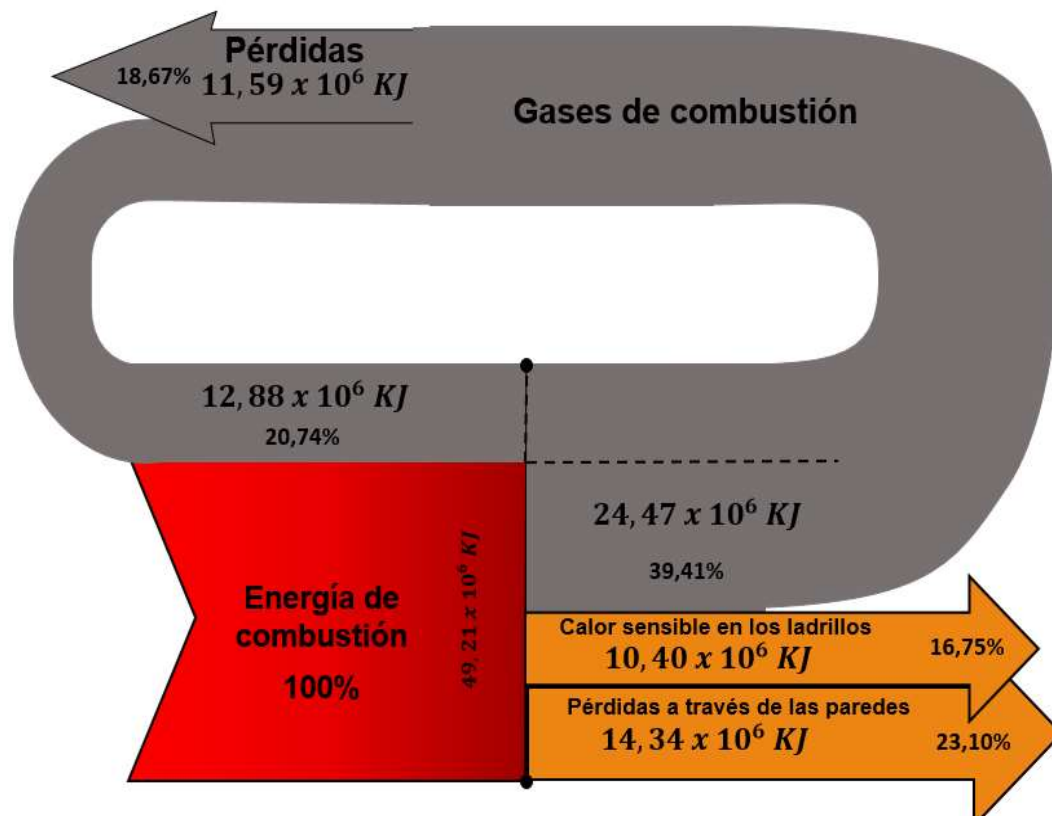
$$Pérdidas de calor a través de las paredes del horno = 49,21 \times 10^6 KJ - 10,40 \times 10^6 KJ - 24,47 \times 10^6 KJ = 14,34 \times 10^6 KJ$$

Para la realización del balance de energía se tuvieron en cuenta los ingresos de energía a partir de las entalpías de reacción, las salidas del calor sensible que llevan los ladrillos y el calor sensible de los gases de combustión, de ésta manera se determina las pérdidas a través de las paredes del horno, todo esto medido en Kilojulios.

4.6 APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE SANKEY

A continuación se muestra un diagrama de Sankey el cual pretende explicar de manera cualitativa la distribución de energía térmica del horno túnel utilizado por la empresa ladrillera El Zipa; representando sus flechas la cantidad de energía empleada en el precalentamiento, secado y energía perdida en el proceso general.

Figura 10. Diagrama de Sankey del horno túnel de la empresa ladrillera El Zipa



Se aprecia que la zona más importante en este proceso es la zona de calcinación debido a que esta recibe toda la energía proveniente de la combustión del carbón, obteniéndose así las mayores temperaturas en el proceso. De lo anterior depende el consumo de energía suministrado para los procesos de precalentamiento y secado. Finalmente la zona de menor flujo es la que se aprecia en la energía perdida porque es mínima en relación con los otros procesos.

Lo anterior hace referencia íntimamente al consumo de energía debido a la temperatura, puesto que es el parámetro más importante en los procesos de elaboración de ladrillos porque al variar este parámetro la materia prima utilizada sufre transformaciones alotrópicas que puede ocasionar un cambio favorable o desfavorable de las propiedades mecánicas del producto final.

4.7 COMPARACIÓN DEL HORNO COLMENA CON EL HORNO TÚNEL

Tabla 12. Datos contemplados para la comparación del horno colmena con el horno túnel en la empresa ladrillera El Zipa.

	HORNO COLMENA	HORNO TÚNEL
O₂	14,3 %	5,4 %
CO	0,0 %	0,0 %
N₂	79,4 %	79,6 %
Humedad	7,8 %	8,9 %
PM10	106,3 mg/m ³	26 mg/m ³
SO₂	159,3 mg/m ³	16,4 mg/m ³
NO₂	4,5 mg/m ³	2,7 mg/m ³
T°	225,6 °C	299,6 °C

Fuente: Informe de monitoreo ambiental para la empresa ladrillera El Zipa. Emisiones en chimenea. (2016).

En la tabla 12 se puede visualizar la elevada reducción en parámetros de gran influencia para el medio ambiente tales como: material particulado, SO₂ y NO₂, que se obtiene al emplear el horno túnel durante la fabricación de los productos arcillosos en la empresa, así mismo una menor cantidad de oxígeno liberado; Sin

embargo, la humedad y la temperatura son mayores en el horno túnel debido a la mayor cantidad de flujo de ladrillos a lo largo de este.

El horno utilizado en la empresa ladrillera El Zipa es un horno tipo túnel, una nueva implementación adquirida por ésta. Los sistemas de control utilizados en este horno corresponden a eficiencias energéticas, siendo esta la tecnología que marca la diferencia con respecto a otras industrias ladrilleras porque es un proceso amigable con el medio ambiente, haciendo que las combustiones completas logradas no se generen grandes cantidades de emisiones a la atmosfera, lo que le confiere al sistema una reutilización de la temperatura final de la cocción para el proceso de secado. Además presentando más ventajas como el aumento de la velocidad de producción, mejor control sobre los procesos de calcinación, la producción es de primera calidad y la reducción del costo de mano de obra.

4.8 MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA EMPRESA LADRILLERA EL ZIPA

Mediante el estudio de la emisión de algunos contaminantes como: material particulado (PM10), dióxidos de azufre (SO₂) y dióxidos de nitrógeno (NO₂), se evaluaron sus concentraciones y se compararon los resultados frente a los niveles máximos admisibles, esto con el uso de muestreadores de alto volumen, evaluándose los monitoreos durante 18 días consecutivos; con el objetivo de estimar la calidad del aire mediante medición directa.

A continuación se pueden observar los valores máximos permisibles según el artículo 4 resolución 610 del 24 de marzo del 2010 con los cuales se compararán los resultados.

Tabla 13. Valores máximos permisibles para cada tipo de contaminante estudiado.

Contaminante	Norma diaria [$\mu\text{g} / \text{m}^3$]	Norma anual [$\mu\text{g} / \text{m}^3$]
PM10	100	50
SO ₂	250	80
NO ₂	150	100

Fuente: Artículo 4 resolución 610 del 24 de marzo de 2010.

Las ubicaciones de la empresa para la ejecución del monitoreo se escogieron de tal manera que diera una gran cobertura territorial. Estos puntos fueron los vestidores y el patio del material terminado. El monitoreo de la calidad de aire realizado a la empresa ladrillera El Zipa se inició el 21 de noviembre del 2015 y finalizó el 8 de diciembre del 2015. A continuación se muestran los niveles de concentración promedio con la norma diaria para material particulado PM10 (sólidos menores a 10 micras), SO₂ y NO₂ en cada uno de los puntos tomados de la empresa ladrillera.

Tabla 14. Niveles de concentración promedio para PM10.

Estación	Promedio [$\mu\text{g} / \text{m}^3$]	Norma diaria [$\mu\text{g} / \text{m}^3$]	Cumplimiento
Patio de materiales terminados	49,21	100	SI
Vestidores	47,77	100	SI

Fuente: Informe de monitoreo ambiental para la empresa ladrillera El Zipa. Calidad del aire. (2016).

Tabla 15. Niveles de concentración promedio para SO₂.

Estación	Promedio [$\mu\text{g} / \text{m}^3$]	Norma diaria [$\mu\text{g} / \text{m}^3$]	Cumplimiento
Patio de materiales terminados	2,75	250	SI
Vestidores	2,77	250	SI

Fuente: Informe de monitoreo ambiental para la empresa ladrillera El Zipa. Calidad del aire. (2016).

Tabla 16. Niveles de concentración promedio para NO₂.

Estación	Promedio [µg / m ³]	Norma diaria [µg / m ³]	Cumplimiento
Patio de materiales terminados	2,57	150	SI
Vestidores	4,03	150	SI

Fuente: Informe de monitoreo ambiental para la empresa ladrillera El Zipa. Calidad del aire. (2016).

Se pueden observar en las tablas 14, 15 y 16 que en los dos puntos tomados como referencia para el respectivo monitoreo de la calidad del aire (patio de materiales terminados y vestidores), las cantidades de material particulado, SO₂, NO₂ son inferiores a las exigidas por el artículo 4 resolución 610 del 24 de marzo de 2010, por lo tanto se está cumpliendo con la norma. Esto da a entender que ladrillos El Zipa es una empresa que ha adquirido un gran compromiso con el medio ambiente y vela por la salud de cada uno de los trabajadores. Esto es resultado de lo que es en general toda la empresa ladrillera, en donde aplica la nueva tecnología considerada como eficiencias energéticas que consiste básicamente en la reutilización de energía de una etapa a otra con la finalidad de no consumir energía extra.

El parámetro que influenció en gran parte a estos resultados satisfactorios es la implementación desde hace varios años de un nuevo horno de calcinación al que se le denomina horno túnel, el cual no posee ningún tipo de orificio que emita directamente gases a la atmosfera, sino que los aprovecha como medio de estabilización de su temperatura interna.

5 CONCLUSIONES

Según los análisis de resultados realizados en el presente trabajo se concluye que:

EL carbón empleado en la empresa ladrillera El Zipa como combustible para la calcinación de ladrillos es un carbón bituminoso tipo A, el cual es ampliamente utilizado por su capacidad de generación de energía y por sus características presentes en él.

El exceso de aire que presenta el horno túnel para la combustión completa es del 32%, el cual fue calculado partiendo del diagrama de Ostwald y no es debidamente controlado por la empresa para su aumento de eficiencia.

La huella de carbono de la empresa ladrillera el Zipa fue de 3618,884 Kg de CO₂ equivalente, del cual el rubro de mayores emisiones está en el horno túnel.

De acuerdo al muestreo y estudio isocinético suministrado por la empresa se considera que la cantidad de PM₁₀, SO₂ y NO₂ son aceptables según la resolución 610 del 2010.

Según el balance de masa realizado para la elaboración de productos arcillosos de la empresa, por cada 98,98 toneladas de productos terminados diarios, se emite a la atmosfera una cantidad de 3618,884 Kg de CO₂ equivalente.

Según el balance de energía realizado para la elaboración de productos arcillosos de la empresa, para emitir 2011,418 Kg de CO₂ equivalente diarios en el horno túnel, se libera una energía de 49,21 x 10⁶ KJ.

6 RECOMENDACIONES

- Para reducir aún más la huella de carbono se debería realizar una reforestación de especies nativas en los alrededores de la empresa ladrillera para que absorban CO₂, con el fin de neutralizar de mejor manera la huella de carbono y evitar una posible desertificación del suelo.
- Proponer y evaluar nuevos refractarios que se puedan utilizar en las paredes del horno túnel con el objetivo de reducir en gran forma las pérdidas de calor que se producen en este y mejorar su eficiencia.
- Emplear gas como combustible en los vehículos utilizados en la empresa ladrillera El Zipa.
- Realizar una optimización de los equipos empleados por unos con menor consumo energético.

BIBLIOGRAFÍA

ARANDA USÓN, Alfonso y ZABALZA BRIBIÁN, Ignacio. Eficiencia energética. Ecodiseño y análisis de ciclo de vida. Universidad de zaragosa. España: Prensas universitarias de Zaragoza, 2010.

CARVALHO FILHO, Arnando Cardim. Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento. Tesis doctoral Ingeniería Civil. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, 2001.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. La cadena del carbón: El carbón Colombiano, fuente de energía para el mundo. [En línea]. Minminas: Unidad de Planeación Minero Energética, Noviembre, 2006 [Consultado el 13 de junio del 2016]. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/Cadena_carbon.pdf

CORDERO AHIMÁN, Otilia Vanessa. Cálculo de la huella de carbono según la metodología Francesa Bilan Carbone: Aplicación a la sociedad de los transportes públicos de la ciudad Limoges S.T.C.L en el año 2009. Proyecto de tesis Máster en Ingeniería del medio ambiente. España.: Universidad de Zaragoza, Centro Politécnico Superior (C.P.S), 2011.

CORTÉS, Vicente. Carbón. [En línea]. [Consultado el 10 de junio del 2016]. Disponible en: <http://www.factoria3.com/documentos/CARBON.pdf>

Día Mundial del Medio Ambiente, Impacto de la Ley de Economía Sostenible en la Gestión Medioambiental de la Empresa. Estudio de Huella de Carbono. [En línea]. Consultado el 16 de diciembre de 2015. Disponible en: <http://docplayer.es/9901382-Estudio-de-huella-de-carbono.html>

Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la producción. Ministerio de Energía y Minas, República del Ecuador. Combustión. [En línea]. [Consultado el 10 de julio de 2016]. Disponible: <http://www.cdts.espol.edu.ec/documentos/apuntes%20de%20combustion.pdf>

European Commission. Análisis del Ciclo de Vida (ACV). [En Línea]. Environment, Life Programme. [Consultado el 13 de diciembre del 2015]. Disponible en: http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=ECOIL_Ciclo_de_Vida.pdf

GONZÁLES COLÍN, Mireya; ROSA DOMÍNGUEZ, Elena Regla y RODRÍGUEZ RICO, Iván Leandro. Uso del análisis del ciclo de vida en una industria de bebidas gaseosas. [En línea]. Instituto Tecnológico de Toluca, México. [Consultado el 12 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/gonzalez2.pdf>

Informe de monitoreo ambiental. Monitoreo emisiones en chimenea y calidad de aire de ladrillos El Zipa Ltda. Asistencia y Monitoreo Ambiental Ltda. Paipa, 2016.

MÁRQUEZ ESTRADA, Claudia. Determinación de emisiones de gases de efecto invernadero en base a factores de emisión y monitoreos de eficiencia energética en

la comunidad ladrillera el refugio, león Guanajuato. Programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de américa latina para mitigar el cambio climático, EELA. México, 2011.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE: Oficina Española de Cambio Climático.. Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de plan de mejora de una organización. [En línea]. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Oficina Española de Cambio Climático, Abril 2015 [Consultado el 16 de diciembre de 2015] Disponible: http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_v2_tcm7-379901.pdf

PARRA ANAYA, María Victoria. Manual de laboratorio de metalurgia extractiva I. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, 1994. 40 p.

PERUGA INGLÁN, Carmen. Estudio sobre la huella de carbono en Aragón como herramienta para la mejora de la eficiencia energética y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Memoria final del proyecto. Unión Europea. Fondo Europeo de Desarrollo Regional, Gobierno de Aragón, 2011.

Programa de eficiencia energética en ladrilleras de América Latina para mitigar el cambio climático. EELA. Manual de hornos eficientes en la industria. [En línea]. 2015. [Consultado el 9 de julio de 2016]. Disponible en: <http://www.redladrilleras.net/capacitaciones/pdf/es/Manual-de-hornos-eficientes.pdf>

RODRÍGUEZ BECERRA, Manuel y MANCE, Henry. Cambio climático: lo que está en juego. 2ed. Bogotá: Foro Nacional Ambiental, 2009. 76 p.

SUAREZ, César Darío y DEVIA WILCHES, Fabián. Evaluación de la huella de carbono en la producción de bloque de arcilla en ladrillera “los cristales”. Anteproyecto. Bogotá. D.C.: Universidad Libre, Instituto de Posgrados, Especialización en Gerencia Ambiental, 2015.

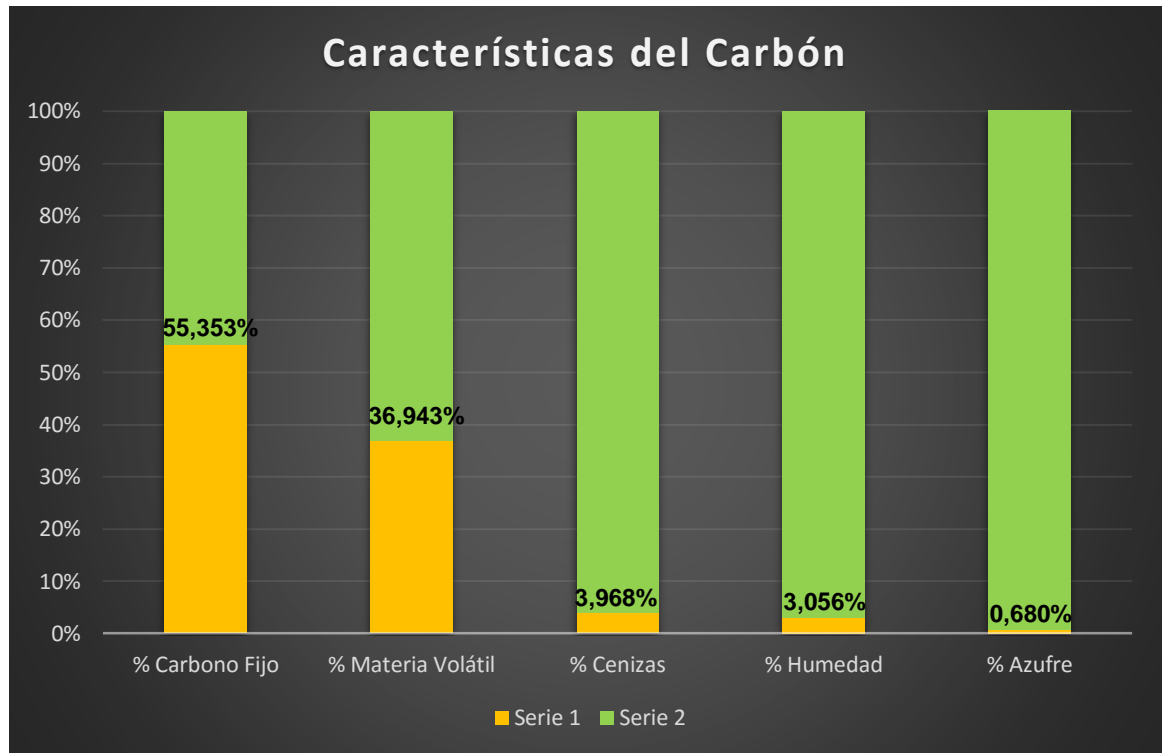
ANEXOS

ANEXO A. Proceso esquemático de la fabricación de productos arcillosos en la empresa ladrillera El Zipa

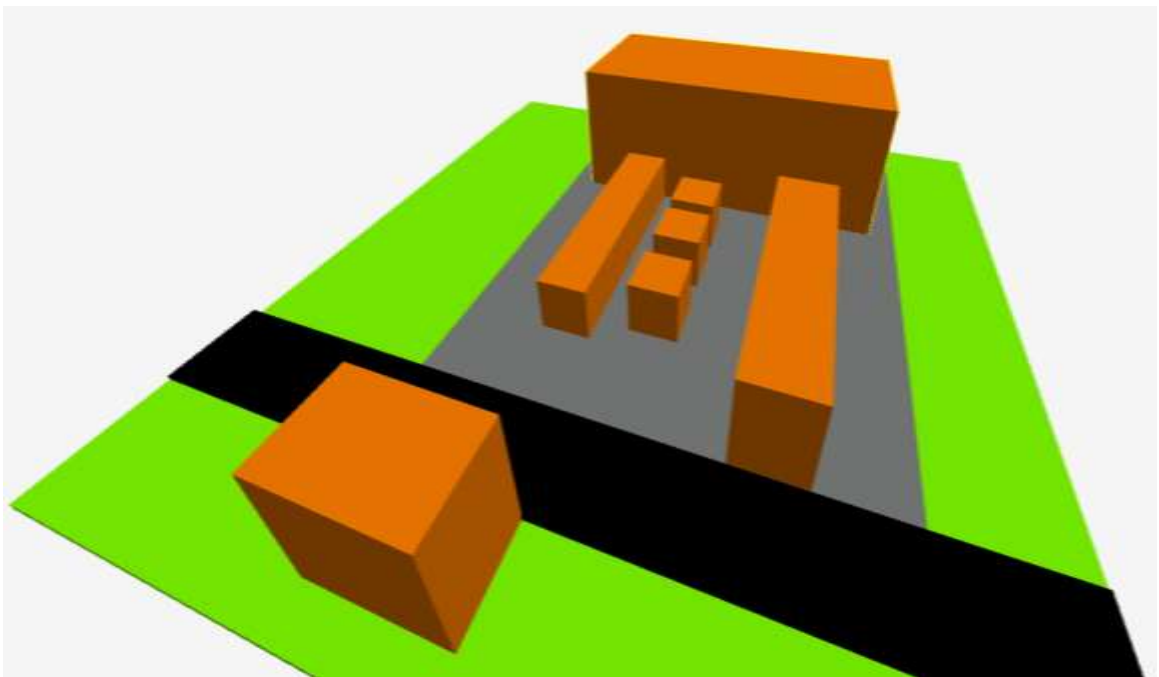


Fuente: Autores

ANEXO B. Diagrama de las características del carbón



ANEXO C. Plano de la empresa ladrillera El Zipa



ANEXO D. Tabla de factores de emisión promedio para la electricidad en los diferentes países según la Agencia Internacional de Energía (IEA)

	País	g CO₂ / Kwh
	2010 World	528.6578
1	North America	481.1105
2	Europe	290.3229
3	Asia Oceania	481.2633
4	OECD Total	433.4404
5	Non-OECD Total	627.6285
6	Canada	186.4102
7	Chile	409.6667
8	Mexico	454.8341
9	United States	522.2489
10	OECD Americas	478.9499
11	Australia	840.9243
12	Israel	688.9622
13	Japan	416.4083
14	Korea	533.0734
15	New Zealand	150.2037
16	OECD Asia Oceania	500.5803
17	Austria	187.8844
18	Belgium	219.5577
19	Czech Republic	589.0224
20	Denmark	359.6725
21	Estonia	1014.1421
22	Finland	229.4806
23	France	79.0921
24	Germany	460.8882
25	Greece	718.2638
26	Hungary	317.0834
27	Iceland	0.183
28	Ireland	458.0438
29	Italy	406.309
30	Luxembourg	409.8438
31	Netherlands	414.8527
32	Norway	16.6943
33	Poland	781.3546
34	Portugal	255.3142
35	Slovak Republic	197.0439
36	Slovenia	324.905
37	Spain	237.978
38	Sweden	29.5724
39	Switzerland	27.3076
40	Turkey	459.5982

	País	g CO₂ / Kwh
41	United Kingdom	457.3677
42	OECD Europe	330.8274
43	Albania	2.1454
44	Armenia	92.2454
45	Azerbaijan	438.7715
46	Belarus	449.417
47	Bosnia and Herzegovina	722.9657
48	Bulgaria	535.4592
49	Croatia	236.3674
50	Cyprus	697.0775
51	Georgia	68.7419
52	Gibraltar	761.6045
53	Kazakhstan	403.2982
54	Kosovo	1287.4872
55	Kyrgyzstan	59.1458
56	Latvia	119.7106
57	Lithuania	337.4069
58	FYR of Macedonia	685.2519
59	Malta	872.318
60	Republic of Moldova	517.4757
61	Montenegro	405.3279
62	Romania	413.4417
63	Russian Federation	383.6011
64	Serbia	717.79
65	Tajikistan	14.2945
66	Turkmenistan	953.5463
67	Ukraine	391.6536
68	Uzbekistan	549.8789
69	Non-OECD Europe and Eurasia	407.3174
70	Algeria	547.8543
71	Angola	440.0713
72	Benin	719.6667
73	Botswana	2517.4792
74	Cameroon	207.1761
75	Congo	142.2236
76	Dem. Rep. of Congo	2.9137
77	Cote d Ivoire	445.3024
78	Egypt	449.8728
79	Eritrea	646.3087
80	Ethiopia	7.0129

	País	g CO₂ / Kwh
80	Ethiopia	7.0129
81	Gabon	383.013
82	Ghana	259.3119
83	Kenya	274.1183
84	Libya	885.4182
85	Morocco	717.7742
86	Mozambique	0.6478
87	Namibia	196.7547
88	Nigeria	404.9281
89	Senegal	636.9345
90	South Africa	926.5368
91	Sudan	343.5045
92	United Rep. of Tanzania	329.3565
93	Togo	195.3692
94	Tunisia	462.6968
95	Zambia	2.6825
96	Zimbabwe	660.1912
97	Other Africa	476.5313
98	Africa	637.4079
99	Bangladesh	592.6142
100	Brunei Darussalam	716.8446
101	Cambodia	803.7525
102	Chinese Taipei	623.8011
103	India	912.3916
104	Indonesia	709.077
105	DPR of Korea	465.082
106	Malaysia	727.3757
107	Mongolia	948.5164
108	Myanmar	261.9749
109	Nepal	1.0558
110	Pakistan	424.6646
111	Philippines	481.0007
112	Singapore	499.4506
113	Sri Lanka	378.9083
114	Thailand	512.8868
115	Vietnam	431.6169
116	Other Asia	295.6907
117	Asia	728.2247
118	People Rep. of China	766.4654
119	Hong Kong, China	723.4259
120	China	766.0941

	País	g CO₂ / Kwh
121	Argentina	366.9635
122	Bolivia	422.6551
123	Brazil	86.7654
124	Colombia	175.737
125	Costa Rica	55.7064
126	Cuba	1011.7124
127	Dominican Republic	589.3417
128	Ecuador	388.559
129	El Salvador	223.059
130	Guatemala	285.6792
131	Haiti	537.6167
132	Honduras	331.8396
133	Jamaica	710.6934
134	Netherlands Antilles	707.0551
135	Nicaragua	460.0844
136	Panama	297.8238
137	Peru	289.0675
138	Trinidad and Tobago	699.6519
139	Uruguay	80.9884
140	Venezuela	264.3765
141	Other Non-OECD Americas	252.2551
142	Non-OECD Americas	196.5435
143	Bahrain	639.8849
144	Islamic Rep. of Iran	564.6244
145	Iraq	1002.8367
146	Jordan	565.5062
147	Kuwait	842.0723
148	Lebanon	708.8088
149	Oman	793.6521
150	Qatar	494.0038
151	Saudi Arabia	736.7833
152	Syrian Arab Republic	594.338
153	United Arab Emirates	597.8194
154	Yemen	654.8022
155	Middle East	674.2195
156	European Union - 27	347.2322

Fuente: Agencia Internacional de Energía (IEA). 2010.

ANEXO E. Tabla de factores de emisión para el consumo y tipo de combustible de los vehículos según la Agencia de Protección Ambiental (EPA)

Tipo de combustible	Kg CO₂/ Gal
Gasolina de aviación	8,31
Biodiesel (100%)	9,45
Diesel	10,21
Etano	4,05
Etanol (100%)	5,75
Combustible de avión (tipo queroseno)	9,75
Gas Natural Licuado (LNG)	4,46
Gas Licuado de Petróleo (LPG)	5,68
Metanol	4,10
Gasolina para motor	8,78
Propano	5,72
Aceite combustible residual	11,27

Fuente: Agencia de protección ambiental (EPA). 2009.