

**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO MEDIANTE INVENTARIO DE  
EMISIONES EN LA EMPRESA LADRILLERA VERSALLES**

**CATALINA GUALDRÓN ORDOÑEZ**

**CARLOS AUGUSTO ARIZA SANTAMARÍA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES**

**BUCARAMANGA**

**2016**

**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO MEDIANTE INVENTARIO DE  
EMISIONES EN LA EMPRESA LADRILLERA VERSALLES**

**CATALINA GUALDRÓN ORDOÑEZ**

**CARLOS AUGUSTO ARIZA SANTAMARÍA**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Metalúrgico**

**Director**

**WALTER PARDAVÉ LIVIA**

**Magíster en Ingeniería Metalúrgica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES**

**BUCARAMANGA**

**2016**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres Alcira Ordoñez Pedraza y Luis Alberto Gualdrón Domínguez por el apoyo incondicional, la fe y sobre todo la paciencia que me han tenido durante todos estos años, siendo siempre mi motor impulsor para terminar mi carrera y no desfallecer en el camino, a ellos les debo todo lo que soy.*

*A mis amigos y hermanos Jorge Alexis Pérez Herrera, Adriana Julieth Pineda Montañez y Heilyn Tatiana Castro Torres por ser mi equilibrio a lo largo de estos años brindándome una amistad y un cariño sincero.*

**CATALINA GUALDRÓN ORDÓÑEZ**

## **DEDICATORIA**

*Al ser superior, por llenar mi vida con energía positiva cada día.*

*A mis padres, hermanas y abuela, por iluminarme con su constante cariño, apoyo y motivación*

*A mis sobrinos Joan Santiago, Rudban y Sofía, quienes con su alegría y entusiasmo hacen que de cada día una nueva aventura.*

*A mis amigos, que con su compañía y amistad hicieron más fácil la navegación por todo este amplio mar de conocimiento.*

**CARLOS AUGUSTO ARIZA SANTAMARÍA**

## AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad Industrial de Santander por permitirnos el paso por ella, por enriquecernos con conocimiento, cultura y educación para obtener este logro personal e impulsarnos a seguir avanzando peldaño a peldaño hasta lograr alcanzar todas nuestras metas y aspiraciones.*

*Al Ingeniero Walter Pardavé Livia quien es el director de nuestro proyecto y docente de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, por ser nuestro guía a lo largo de este proceso, por compartir en todo momento su amplio conocimiento, por su colaboración y por depositar su confianza en nosotros.*

*Al Ingeniero Rodolfo Ramírez gerente general de ladrillera Versalles, por abrirnos las puertas de su empresa y facilitarnos la información necesaria para llevar a cabo este proyecto de grado.*

*A los docentes de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales que, durante nuestra estadía en la Universidad Industrial de Santander, impartieron su conocimiento, encaminándonos a ser mejores cada día e impulsándonos a buscar e indagar por nuestros medios, formas de complementar ese conocimiento.*

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	16
1 OBJETIVOS .....	19
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
2 MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 CAMBIO CLIMÁTICO Y GEI EN COLOMBIA .....	20
2.2 INVENTARIO DE EMISIONES EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS ...	22
2.3 HUELLA DE CARBONO .....	24
2.4 CÁLCULO DE LA HC EN UNA INDUSTRIA LADRILLERA .....	26
2.5 HORNO CONVENCIONAL TIPO COLMENA .....	29
2.6 MITIGACIÓN DE LA HC MEDIANTE RESERVA FORESTAL .....	30
2.7 ETAPAS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS EN LADRILLERA VERSALLES.....	33
2.8 DIAGRAMA DE OSTWALD Y DIAGRAMA DE SANKEY.....	34
3 METODOLOGÍA.....	35
4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	41
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN UTILIZADO EN LA LADRILLERA VERSALLES.....	41
4.1.1 Porcentaje de humedad: .....	41
4.1.2 Porcentaje de cenizas: .....	43
4.1.3 Porcentaje de materia volátil: .....	44
4.1.4 Poder calorífico: .....	46
4.1.5 Porcentaje de azufre: .....	49
4.1.6 Carbono Fijo:.....	51
4.2 APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE OSTWALD .....	53
4.3 CALCULO DE LA HUELLA DE CARBONO .....	56
4.4 BALANCE DE MASA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE DERIVADOS DE ARCILLA EN LA LADRILLERA VERSALLES.....	69

4.5	BALANCE DE ENERGÍA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE DERIVADOS DE ARCILLA EN LA LADRILLERA VERSALLES .....	70
4.6	APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE SANKEY .....	71
5	CONCLUSIONES.....	73
6	RECOMENDACIONES .....	75
	BIBLIOGRAFIA .....	76

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles máximos permisibles de contaminantes en la atmósfera .....	22
Tabla 2. Variables para hallar el CO <sub>2</sub> almacenado en un sumidero .....	32
Tabla 3. Valores medidos para la determinación del % de humedad de las muestras de carbón .....	41
Tabla 4. Valores medidos para la determinación del % de cenizas de las muestras de carbón.....	43
Tabla 5. Valores medidos para la determinación del % de materia volátil de las muestras de carbón .....	44
Tabla 6. Valores medidos para la determinación del poder calorífico de las muestras de carbón .....	46
Tabla 7. Valores medidos para la determinación del % de azufre de las muestras de carbón.....	49
Tabla 8. Caracterización completa del carbón .....	51
Tabla 9. Consumo de energía eléctrica del equipo de producción del proceso de elaboración de ladrillos en ladrillera Versailles .....	57
Tabla 10. Consumo de energía en Kg de CO <sub>2</sub> /día del equipo de producción del proceso de elaboración de ladrillos en ladrillera Versailles .....	59
Tabla 11. Consumo de combustible de los vehículos involucrados en la elaboración de ladrillos de ladrillera Versailles .....	61
Tabla 12. Caracterización completa del sumidero .....	67

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Intensidad de las emisiones de GEI generadas por algunos países en 2009.....	20
Ilustración 2. Aspectos que influyen en el inventario de emisiones .....	23
Ilustración 3. Metodología GhG Protocol para el cálculo de la HC. ....	25
Ilustración 4. Pasos para el cálculo de la HC.....	26
Ilustración 5. Pasos para la elaboración de ladrillos. ....	33
Ilustración 6. Materia prima para la elaboración de ladrillo de la ladrillera Versailles. .....	37
Ilustración 7. Eucaliptos sembrados en la ladrillera Versailles. ....	37
Ilustración 8. Pinos y cafetales sembrados en la ladrillera Versailles. ....	38
Ilustración 9. Clasificación de los carbones por rango. ....	53
Ilustración 10. Gráfica auxiliar de Schultes para la determinación del CO2 máximo. .....	54
Ilustración 11. Diagrama de Ostwald del carbón utilizado en la ladrillera Versailles. .....	55
Ilustración 12. Distribución de la cantidad de CO2 emitido. ....	62
Ilustración 13. Distribución de la HC y su porcentaje de mitigación. ....	68
Ilustración 14. Balance de Masa del proceso de fabricación de derivados de arcilla en la ladrillera Versailles.....	69
Ilustración 15. Balance de Energía del proceso de fabricación de derivados de arcilla en la ladrillera Versailles.....	70
Ilustración 16. Diagrama de Sankey correspondiente al horno tipo colmena de la ladrillera Versailles.....	71

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Factores de emisión promedio de electricidad según la agencia internacional de energía IEA.....	79
Anexo B. Diagrama de las características del carbón.....	81
Anexo C. Esquema del proceso de fabricación de ladrillos en la ladrillera Versailles .....	82
Anexo D. Factores de emisión en Kg de CO <sub>2</sub> equivalente.....	84

## RESUMEN

**TÍTULO:** ESTIMACIÓN DE HUELLA DE CARBONO MEDIANTE INVENTARIO DE EMISIONES EN LA EMPRESA LADRILLERA VERSALLES<sup>1</sup>

**AUTORES:** Catalina Gualdrón Ordóñez, Carlos Augusto Ariza Santamaría<sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVE:** Huella de carbono, Inventario de emisiones, Gases de efecto invernadero, mitigación mediante reserva forestal

**DESCRIPCIÓN:** La temática que se presenta en esta investigación da a conocer los fundamentos y soportes con los cuales se ha realizado la medición de la huella de carbono de una industria ladrillera. Esto se hace debido a la problemática ambiental generada por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) producidos durante el proceso de fabricación de productos cocidos a base de arcilla. La información recopilada a partir de diferentes organizaciones como la ISO, metodología del IPCC, protocolo GEI del instituto mundial de recursos, entre otros permitió realizar la medición de las variables más representativas para realizar el procesamiento y la emisión de resultados veraces y adecuados.

Además, se indagó sobre las normativas y políticas establecidas por las instituciones gubernamentales enfocadas a mitigar este flagelo, se valoró el aporte que hace la industria ladrillera a la generación de GEI y se aplicaron las metodologías establecidas para medir y cuantificar las emisiones; esto con el fin de alcanzar los objetivos planteados en la presente investigación y facilitar la toma de decisiones por parte de la empresa.

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 6286,954 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente/día, con una mitigación debido a la reserva forestal de 4800,72 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente/día, dando un resultado de 1486,234 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente/día.

---

<sup>1</sup> Proyecto de grado

<sup>2</sup> Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Director: Walter Pardavé Livia.

## ABSTRACT

**TITLE:** ESTIMATING OF CARBON FOOTPRINT BY EMISSIONS INVENTORY IN THE COMPANY LADRILLERA VERSALLES<sup>3</sup>.

**AUTHORS:** Catalina Gualdrón Ordóñez, Carlos Augusto Ariza Santamaría<sup>\*\*4</sup>.

**KEYWORDS:** Carbon footprint, emissions inventory, greenhouse gasses, forest reserve mitigation

**DESCRIPTION:** The theme presented in this investigation discloses the basis and supports with which has made measured the carbon footprint of a brick industry. This is done because of environmental problems caused by the emission of greenhouse gases (GHGs), produced during the manufacturing process of cooked products based on clay. The information compiled from the different organizations such as ISO, IPCC methodology, GhG Protocol World Resources Institute, among others, allowed make measurement of the most representative variables to perform the processing and dissemination of accurate and appropriate results.

Besides we investigated about the regulations and policies established by government institutions focused on mitigating this issue, the contribution made by brick industry on GHG generation and established methodologies for measuring and quantifying emissions; this in order to achieve the objectives in this investigation and facilitate decision-making by the company.

Finally, the carbon footprint of the company gathering critical information the production and administrative area was calculated, resulting in a carbon footprint of 6286,954 Kg CO<sub>2</sub> eq/day with a forest reserve mitigation of 4800, 72 Kg de CO<sub>2</sub> eq/day, obtaining a result of 1486,234 Kg de CO<sub>2</sub> eq/day.

---

<sup>3</sup> Engineering thesis

<sup>4</sup> University Industrial of Santander. Physicochemical Faculty of Engineering. Metallurgical Engineering and Material Science School. Director: Walter Pardavé Livia

## INTRODUCCIÓN

Un incremento progresivo en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero generados por diferentes procesos industriales ha llevado a que tanto a nivel internacional como local se creen y apliquen estrategias que arrojen indicadores que conlleven a la rápida implementación de estrategias de reducción de dichas emisiones. Por ello es necesario conocer antecedentes e información que contribuya a identificar las principales fuentes emisoras de GEI para cada región o país.

Si se habla de las políticas a nivel mundial, se debe tener en cuenta que se están haciendo esfuerzos enormes para mitigar los GEI, los cuales están constituidos en su mayoría por Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), Metano ( $\text{CH}_4$ ) y Óxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ); éstos son generados principalmente por el uso de combustibles fósiles y biomasa tanto en procesos industriales como a nivel residencial, generando consigo una contribución al incremento del calentamiento global por obra de los gases que se acumulan en la atmósfera.

Luego de la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro por las naciones unidas (ONU) en 1992, se reconoció que la problemática generada por la contaminación al medio ambiente debida al desarrollo y aumento de la productividad superaba aspectos técnicos, llevando consigo no sólo el deterioro del medio ambiente, sino que las afectaciones abarcaban aspectos sociales, políticos y como era de esperar económicos. Factores como el calentamiento global, el deterioro de la capa de ozono y la afectación a ecosistemas, llevaron a que se establecieran acuerdos por la mayoría de países del planeta. Además, después de esta cumbre se comenzaron a cuestionar las políticas y modelos económicos de los países tanto industrializados como en vías de desarrollo y se inició la implementación de

lineamientos para reducir la afectación que se estaba generando y que en la actualidad aún persiste.

Antes de la década de los 70, la problemática relacionada con el deterioro del medio ambiente era percibida a nivel mundial sólo como un problema de contaminación física al cual se le debía dar soluciones técnicas y no era tenido en cuenta como problema de desarrollo y avance industrial. Consecuentemente en la cumbre de la tierra se estableció el panorama ambiental producto de los procesos industriales y de desarrollo, con el fin de plantear un desarrollo sostenible que preserve los aspectos ambientales sin afectar el desarrollo económico.

Luego en la convención del 9 de Mayo de 1992 de la ONU sobre cambio climático, se creó el protocolo de Kioto; que nace luego de la discusión sobre la publicación del primer informe de evaluación del panel intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC); dónde se establecieron algunos compromisos para reducciones cuantificadas (1.8%) de las emisiones de GEI (sobre la emisiones de GEI registradas en 1990) por parte de los países industrializados, los cuales debían llevarse a cabo entre el 2008 y 2012, en el cual Colombia no fue la excepción y el congreso de la república aprobó mediante la ley 694 de 1994 la convención marco de la naciones unidas, y mediante la ley 629 de 2000 el protocolo de Kioto. Este protocolo de acuerdo a su artículo 12 define el mecanismo de desarrollo limpio, *“el cual tiene tres propósitos fundamentales: ayudar a los países en desarrollo a alcanzar el desarrollo sostenible, contribuir al logro del objetivo de la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático y ayudar a los países a cumplir con sus obligaciones cuantificadas de limitación y reducción de las emisiones contraídos en virtud del artículo 3 del mismo protocolo<sup>5</sup>”*.

---

<sup>5</sup> Tomado de la resolución 2734 del 29 de diciembre de 2010

A pesar que se cuenta con las normativas establecidas por el gobierno, en Colombia no existe una regulación sobre los niveles permisibles reales de emisiones de GEI que pueden generar las industrias; en dónde la entidad designada para realizar las gestiones de autoridad nacional y formuladora de proyectos es el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, que mediante la resolución 2734 de 2010 cuenta con un marco de referencia para implementar mecanismos de desarrollo limpio por parte de sectores y actividades industriales para la captura y reducción de GEI.

# **1 OBJETIVOS**

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Estimar la huella de carbono en la empresa ladrillera Versalles mediante inventario de emisiones.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

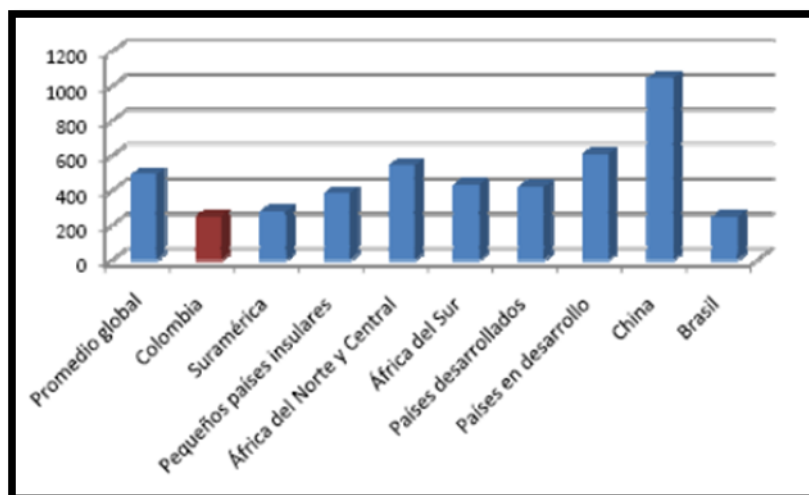
- ✓ Realizar el respectivo balance de materia y energía, de cada una de las etapas presentes en la fabricación de ladrillos en la empresa ladrillera Versalles.
- ✓ Determinar el porcentaje de mitigación de la huella de carbono mediante la implementación de reserva forestal, conocida como sumidero.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 CAMBIO CLIMÁTICO Y GEI EN COLOMBIA

Según la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono ECDBC desarrollada por el MADS, Colombia produce el 0,37% de los GEI del mundo lo cual es inferior al promedio mundial e inclusive al de países de la región como se aprecia en la siguiente figura.

Ilustración 1. Intensidad de las emisiones de GEI generadas por algunos países en 2009.



Fuente: ECDBC. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

La ECDBC pretende desligar las emisiones de GEI del crecimiento económico para ser carbono neutral en el año 2050 y lograr la meta mundial de concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera establecida en 631 ppm. Para realizar la mitigación de dichas emisiones es necesario realizar prevención y control de la contaminación atmosférica, tema tratado en el decreto 948 de 1995 en el cual se establecen las normas, principios para la protección y la fijación de estándares de emisión de

contaminantes atmosféricos. El decreto establece y clasifica los gases contaminantes de acuerdo a su grado de afectación de la siguiente manera:

**De primer grado:** Emisiones de manera rutinaria o accidental que afectan la calidad del aire o el nivel de inmisión, causando cáncer, enfermedades agudas o defectos de nacimiento y mutaciones genéticas como el ozono troposférico (O<sub>3</sub>), Monóxido de Carbono (CO), material particulado, dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y plomo (Pb).

**De segundo grado:** Son compuestos químicos que contribuyen a la disminución o destrucción de la capa estratosférica de ozono, al agravamiento del efecto invernadero y al cambio climático global.

La implementación de lineamientos de carbono neutro y reducción de la huella de carbono es necesaria para contribuir al cumplimiento de las metas establecidas en el ámbito internacional.

Con el propósito de minimizar los riesgos sobre la salud humana, la normativa colombiana mediante la resolución 601 de 2006 establece la norma de calidad del aire con los promedios de los niveles máximos permisibles de contaminantes en la atmósfera los cuales se presentan en la siguiente tabla (tabla 1):

**Tabla 1: Niveles máximos permisibles de contaminantes en la atmósfera.**

CONTAMINANTE	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE		TIEMPO DE EXPOSICION
	ppm	µg/m3	
PST (partículas suspendidas totales)	---	100	Anual
PM10 (partículas sólidas con $d < 10\mu\text{m}$ )	---	70	Anual
SO <sub>2</sub>	0,031	80	Anual
NO <sub>2</sub>	0,053	100	Anual
O <sub>3</sub>	0,041	80	8 horas
CO	8,8	10	8 horas
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	---	5	Anual
Pb y sus compuestos	---	0,5	Anual
Cd	---	$5 \times 10^{-3}$	Anual
Hg	---	1	Anual
Hidrocarburos totales expresados como	---	1,5	4 meses
Tolueno C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	---	260	1 semana
Vanadio	---	1	24 horas
<b>Nota: En condiciones de 25°C y 760 mm Hg</b>			

## 2.2 INVENTARIO DE EMISIONES EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS

El desarrollo de actividades industriales genera toda clase de emisiones las cuales son dirigidas hacia el medio ambiente, como son los desechos, contaminación auditiva y GEI, entre otros. Debido a esta problemática y con el fin de crear procesos más limpios y eco-amigables, las empresas se han visto en la obligación de reducir las proporciones en las que estas emisiones son arrojadas a la atmosfera; como es el caso particular de las industrias ladrilleras. Para esto es indispensable tener en cuenta los procesos generadores de emisiones y así poder realizar un respectivo inventario. Para realizar este inventario en el proceso de fabricación de piezas

arcillosas como los ladrillos, existen a nivel mundial varias metodologías como la de los factores de equivalencias recomendada por el IMN donde las emisiones calculadas producidas en las diferentes etapas del proceso y mediante su respectiva conversión, son reportadas como Kg de CO<sub>2</sub> equivalente que es una medida utilizada para comparar y totalizar dichas emisiones. Es importante tener en cuenta 3 aspectos fundamentales, los cuales serán pieza clave a la hora de definir las variables que influyen en el cálculo de las emisiones dirigidas hacia el medio ambiente.

**Ilustración 2. Aspectos que influyen en el inventario de emisiones**

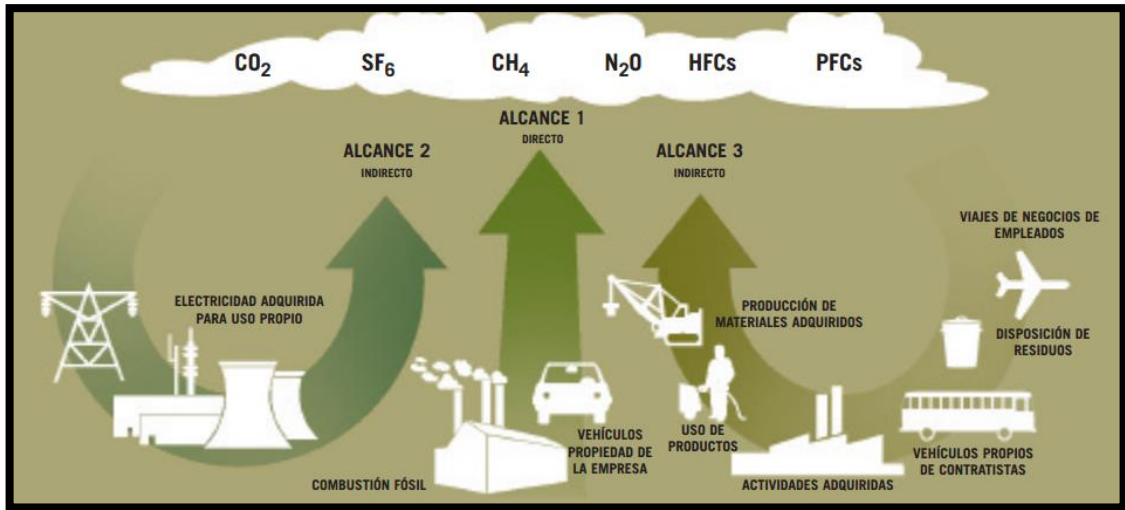


### 2.3 HUELLA DE CARBONO

La Huella de Carbono (HC) es un parámetro utilizado para cuantificar las emisiones hacia la atmosfera de GEI generadas por el desarrollo de alguna actividad para determinar su influencia sobre el cambio climático evidenciado en la zona, en los alrededores o en el medio ambiente en general. La HC recoge los GEI tales como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y CFC. El cálculo de la HC da como resultado un dato el cual puede ser utilizado como indicador ambiental, dando así un punto de referencia el cual permitirá establecer si es necesario implementar un plan inmediato de reducción tanto de emisiones como de consumo de energía. La importancia del cálculo de la HC en las industrias en general se hace cada vez mayor, debido a que éste procedimiento ayuda a distinguir la empresa en un mercado creciente que está cada vez mas concientizado con la protección del medio ambiente y en donde se valora preferentemente la elaboración de productos sostenibles y eco-amigables. Para realizar el cálculo de la HC existen diversas normas y guías dentro de las cuales podemos encontrar:

**GhG Protocol:** Es una iniciativa puesta en marcha por el World Resources Institute (WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), apoyada además por numerosas empresas, organizaciones no gubernamentales y administraciones públicas. El GhG Protocol provee una guía para empresas interesadas en realizar un inventario de emisiones teniendo en cuenta el tipo de alcance de cada etapa del proceso, su contribución y la cantidad arrojada a la atmosfera en términos de Kg de CO<sub>2</sub> equivalente.

**Ilustración 3. Metodología GhG Protocol para el cálculo de la HC.**



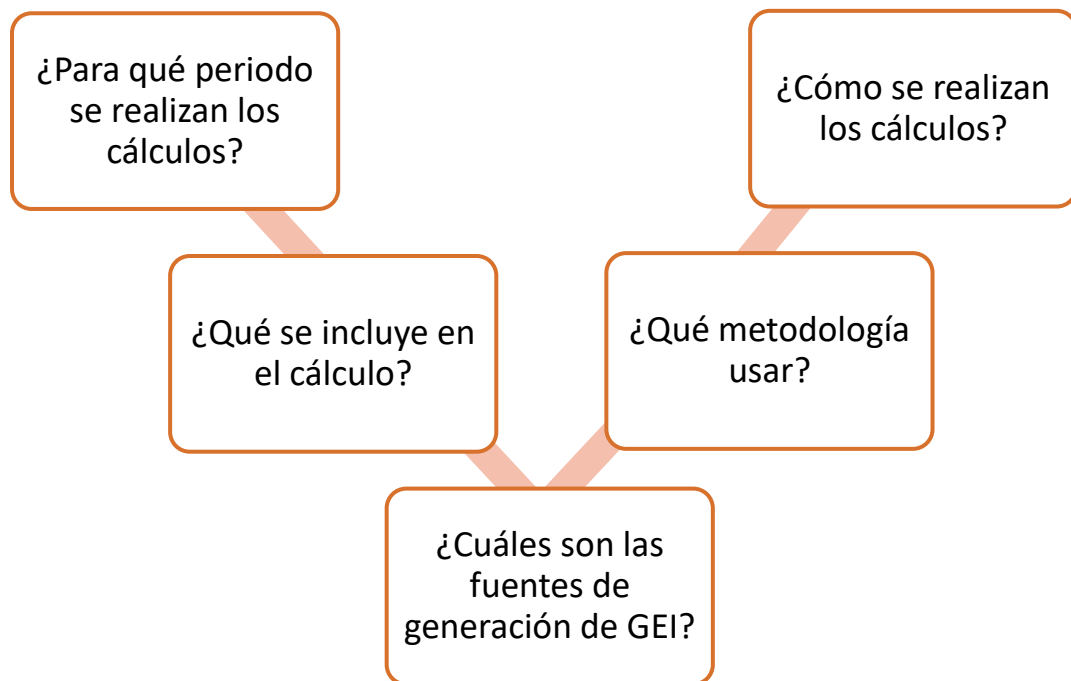
**Fuente: Guía GhG Protocol.**

El cálculo de la HC debe cumplir con ciertos principios tales como la relevancia (refleja de manera apropiada todas las emisiones de GEI de las que la empresa ha sido responsable), integridad (cuando todas las fuentes de emisión relevantes están contabilizadas), consistencia (cuando se usan metodologías que permitan comparaciones de las emisiones a lo largo del tiempo), transparencia (cuando la información es presentada y publicada de forma clara, efectiva, neutral y comprensible, basada en documentación sólida, transparente y auditable) y precisión (contar con datos reales sin errores sistemáticos o desviaciones logrando una incertidumbre mínima).

## 2.4 CÁLCULO DE LA HC EN UNA INDUSTRIA LADRILLERA

Actualmente las empresas del sector ladrillero están implementando políticas de reducción de impactos ambientales con el apoyo de instituciones de educación superior y entidades gubernamentales, pero para esto es indispensable conocer de manera previa las cifras reales del impacto que están generando en su entorno, por lo tanto, la herramienta del cálculo de la HC es útil y a continuación se proponen 5 pasos a seguir para su estimación:

**Ilustración 4. Pasos para el cálculo de la HC.**



### **¿Para qué periodo se realizan los cálculos?**

Lo más recomendable es un periodo de tiempo de un año para que los datos sean coherentes con los indicadores económico-financieros, medioambientales o de responsabilidad social corporativa que ya pueda estar establecido en la empresa.

### **¿Qué se incluye en el cálculo?**

Es importante incluir todas las actividades de la empresa, (financieras u operativas) que generen emisiones, con el fin de garantizar resultados globales y veraces.

### **¿Cuáles son las fuentes de generación de GEI?**

Las fuentes o actividades que implican emisiones de GEI son:

- Equipos que generan electricidad, calor o vapor, como hornos, motores, calderas, turbinas, etc.
- Elementos de transporte de mercancía, productos, residuos, de los empleados, como automóviles, furgonetas, motocicletas, camiones bulldozers, entre otros.
- Uso de equipos eléctricos y electrónicos.

## **¿Qué metodología usar?**

Definir y decidir la metodología para el cálculo de la HC es un paso muy importante y depende de la empresa o de la persona encargada del estudio, lo habitual es optar por seguir las metodologías más conocidas internacionalmente como la norma ISO 14064 o como en este caso en particular el GhG Protocol para la estimación de la HC mediante un inventario de emisiones con factores de equivalencias recomendado por el IMN.

## **¿Cómo se realizan los cálculos?**

Se debe realizar una apropiada recopilación de datos, donde el cálculo de la HC se hace mediante la puesta en relación de las unidades físicas consumidas con los factores de emisión documentados así:

$$***Cantidad x Factor de conversión = Kg CO<sub>2</sub> equivalente***$$

Donde la “Cantidad” son los datos registrados de las actividades y el “Factor de conversión” es una relación entre la cantidad del contaminante que está siendo arrojado a la atmosfera y una unidad de actividad específica, el cual está determinado por los organismos encargados y se puede encontrar en tablas (Ver anexo A).

## 2.5 HORNO CONVENCIONAL TIPO COLMENA

El horno colmena es un horno cerrado que opera de manera intermitente, posee una puerta en su parte lateral donde se lleva a cabo el suministro del combustible (carbón), están contruidos en forma de cámaras circulares con paredes y techo en bóveda de ladrillo, poseen hogares laterales distribuidos uniformemente donde se quema el combustible. Una ventaja de estos hornos es que el combustible y sus residuos no están en contacto inmediato con el producto debido a la presencia de una pared separadora donde los gases de combustión ascienden y luego son obligados a salir por la parte inferior del horno atravesando la carga de arriba hacia abajo. Generalmente este horno alcanza temperaturas entre 1000°C a 1200 °C. Su proceso de quema consiste en varias etapas consecutivas así:

**Endague:** Acomodamiento espaciado de la masa dentro del horno.

**Encendido y calentamiento del horno:** Evapora la humedad de la masa cargada y del horno. Una vez se logre este punto, la dosificación de aire-combustible se mantiene para alcanzar una temperatura entre 300 a 400°C durante 12 a 25 horas.

**Cocción:** Se genera la sinterización de la arcilla cargada, comenzando cuando el horno supera los 400°C, se implementa el sistema de dosificación mecánica con un flujo de entre 200 – 380 Kg/h hasta lograr una temperatura entre 1000°C a 1200 °C y luego se busca sostener la temperatura.

**Enfriamiento:** Se refiere al periodo de tiempo en que se suspende la inyección de combustible y se permite el descenso de la temperatura de manera natural o forzada mediante ventiladores durante 1 o 2 horas para permitir la salida de calor.

**Deshorne o descargue:** Consiste en retirar del horno el material cocinado posterior al enfriamiento de forma manual con el apoyo de coches o carretillas.

## **2.6 MITIGACIÓN DE LA HC MEDIANTE RESERVA FORESTAL**

Una de las alternativas que forma parte de los denominados Mecanismos de Flexibilidad del protocolo de Kyoto para lograr una considerable reducción de las emisiones de GEI es la implementación de sumideros naturales de CO<sub>2</sub> debido a su capacidad de secuestro de CO<sub>2</sub> a través del proceso de fotosíntesis.

Con el fin de llevar a cabo dicha mitigación de la HC mediante reserva forestal es necesaria la plantación de especies que tengan la mayor capacidad de absorción y transformación del CO<sub>2</sub> entre las cuales encontramos el pino y el eucalipto, ambos géneros son los más utilizados en plantaciones con fines industriales en todo el mundo ya que por su adaptabilidad a condiciones climáticas de luz y altas de temperatura y lluvias, resultan ser los más apropiados para llevar a cabo esta alternativa. Dichas especies son de gran valor medioambiental: eficientes en el uso del agua, su cultivo sostenible favorece la biodiversidad, reducen el riesgo de incendios, proporcionan nuevos espacios naturales y recuperan suelos degradados o inservibles enriqueciendo su paisaje.

Estas plantaciones mediante la fijación masiva de carbono y la correspondiente producción de oxígeno, crean la materia prima renovable que se usa para producir celulosa y energía.

Comparados con otras especies, el eucalipto y el pino son especialmente eficientes en la captura de CO<sub>2</sub>, fijación de carbono y generación de oxígeno, debido a su mayor tasa de crecimiento y a la densidad de la madera que les permite acumular más carbono por unidad de volumen.

Para realizar el cálculo del contenido de carbono en la biomasa aérea de los árboles primero se debe calcular el volumen de los mismos, esto se lleva a cabo mediante la utilización de las siguientes formulas (Pardé y Bouchon, 1994 y Philip, 1994).

$$V = AB * H * Cf \qquad AB = \frac{\pi}{4} * D^2$$

Dónde:

V= Volumen en m<sup>3</sup>

Cf= Coeficiente de forma (0,5)

AB= Área basal en m<sup>2</sup>

π/4= Constante 0,7854

H= Altura en m

D= Diámetro del tronco en m

Siguiendo el método propuesto por el IPCC para el cálculo de contenido de carbono, se sugiere la aplicación de diferentes variables que sirven para estimar el contenido de carbono almacenado en un sumidero completo.

**Tabla 2: Variables para hallar el CO<sub>2</sub> almacenado en un sumidero.**

VARIABLES	PROCEDIMIENTO
Volúmenes reales por hectárea	m <sup>3</sup> /ha
Factor de densidad	Coníferas (pinos)= 0,48 Latifoliadas (eucaliptos)= 0,60
Factor de contenido de carbono	(Toneladas de carbono/Toneladas de materia seca) = 0,45
Calculo de biomasa	Volumen por hectárea * Factor de densidad
Factor de expansión	1,3 Tn de C/ha
Toneladas de C/ hectárea	Biomasa por hectárea * Factor de contenido de carbono * Factor de expansión.
Conversión de carbono fijado a CO <sub>2</sub>	Tn de C/ha*44/12

## 2.7 ETAPAS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS EN LADRILLERA VERSALLES

Ilustración 5. Pasos para la elaboración de ladrillos.



**Extracción:** Se lleva a cabo en un terreno previamente estudiado con un gran porcentaje de arcilla donde las rocas del material sufren una “desterronación” seguido de una molienda y luego de esto viene el proceso de maduración para que se desprendan terrones y se disuelvan nódulos.

**Preparación:** Se amasa la materia prima junto con agua en un equipo mecánico que constantemente va humidificando la arcilla hasta obtener la consistencia requerida.

**Moldeo:** La mezcla se dispone en una maquina extrusora y pasa a través de una boquilla que posee las dimensiones de las piezas a elaborar.

**Secado:** Se deja el material al aire libre para que en todos los lados de las piezas se elimine el agua absorbida y se logre un secado uniforme.

**Calcinación:** La cocción de las piezas arcillosas es efectuada en un horno tipo colmena donde son apiladas en grupos y son expuestas a altas temperaturas (entre 90°C y 1000°C) durante el tiempo establecido con el fin de lograr ladrillos con características óptimas de resistencia y buen acabado superficial.

**Almacenaje:** Una vez comprobada la calidad de los ladrillos, estos son seleccionados y dispuestos en grupos para ser trasladados sobre los “pallets”.

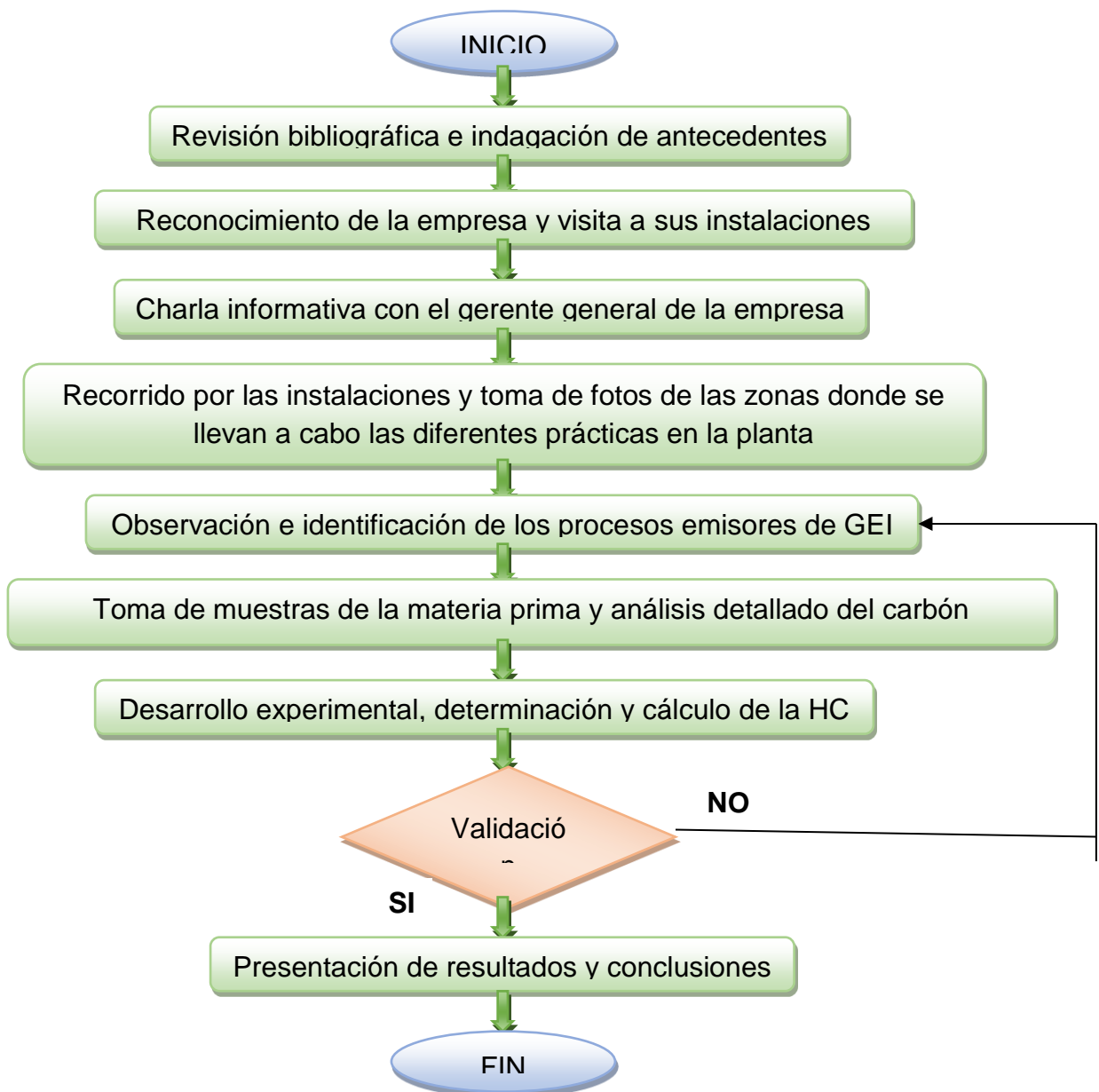
## 2.8 DIAGRAMA DE OSTWALD Y DIAGRAMA DE SANKEY

El diagrama de Ostwald es una herramienta útil para efectuar cálculos rápidos y puntuales en un proceso de combustión, consiste en una representación gráfica de las concentraciones volumétricas de los componentes de los gases  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ . A partir de cálculos teóricos estequiométricos es posible construir el diagrama de Ostwald para saber la composición de los demás gases de combustión. De los valores de los gases mencionados anteriormente junto con el exceso de aire, se puede establecer bajo qué condiciones la combustión está dada.

El diagrama de Sankey es un diagrama de flujo con unas características particulares que consiste en la representación del balance energético de un sistema de combustión. Está compuesto por flechas horizontales (caudales) las cuales según su tamaño (anchura) representan la cantidad de energía correspondiente y según su dirección el destino final de dicha energía.

### 3 METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología utilizada en el desarrollo del proyecto, indispensable para alcanzar los objetivos propuestos en la determinación y cálculo de la HC mediante un inventario de emisiones de la industria ladrillera Versalles.



**Revisión bibliográfica e indagación de antecedentes:** Se realizó una detallada búsqueda en proyectos de grado, libros, recursos electrónicos, artículos científicos, revistas, entre otras, las cuales proporcionaron información relacionada con inventarios de emisiones de GEI, huella de carbono y mitigación de emisiones.

**Reconocimiento de la empresa y visita a sus instalaciones:** Gracias a la autorización del gerente de la empresa fue posible una jornada de visita a sus instalaciones con el fin de conocerla, recorrerla y observar los procesos que se llevan a cabo.

**Charla informativa con el gerente general de la empresa:** Se dialogó con el gerente general de la ladrillera Versailles, el Ingeniero Rodolfo Ramírez, quien nos dio a conocer cierta historia de la empresa, su avance como industria, su misión y visión, la certificación en normas y el compromiso que tienen con el medio ambiente para reducir al máximo sus emisiones.

**Recorrido por las instalaciones y toma de fotos de las zonas donde se llevan a cabo las diferentes prácticas en la planta:** Se inició el recorrido en las zonas donde es extraída la materia prima, luego por las hectáreas de bosque y finalmente por el sector donde se lleva a cabo el proceso de fabricación de los ladrillos (Figura 5).

**Ilustración 6. Materia prima para la elaboración de ladrillo de la ladrillera Versalles.**



**Ilustración 7. Eucaliptos sembrados en la ladrillera Versalles.**



**Ilustración 8. Pinos y cafetales sembrados en la ladrillera Versailles.**



**Observación e identificación de los procesos emisores de GEI:** Se identificaron 3 aspectos fundamentales: El horno tipo colmena donde se calcinan los ladrillos (Kg CO<sub>2</sub>/Día), el consumo energético de la maquinaria (Kw/h) y el consumo de combustible de los vehículos (GPD).

**Toma de muestras de la materia prima y análisis detallado del carbón:** Algunas muestras representativas de arcilla y carbón fueron tomadas para su análisis mediante DRX para averiguar su composición así:

**Molienda y tamizado:** Se hizo la molienda de la muestra en un molino de bolas durante 30 minutos, se tamizó por 10 minutos a través de las mallas 5, 10, 20, 50 y 100; para obtener el pasante de la malla 100 (diámetro de partícula= 0,038 mm), tamaño de partícula recomendado por la norma ASTM D388.

**Caracterización del carbón:** En el laboratorio de piro-metalurgia perteneciente a la escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la Universidad Industrial de Santander se determinó el porcentaje de humedad, cenizas, materia volátil, azufre total y poder calorífico y se registraron los resultados.

Para determinar la pérdida de peso por evaporación (% humedad) se tomaron muestras de 1 g aproximadamente y se secaron en un horno durante una hora a 110°C. Para el % de cenizas se prepararon muestras de 1 g aproximadamente y se introdujeron en un horno mufla a 750 °C durante una hora. La materia volátil se determinó pesando muestras de 1 g aproximadamente y estas se ingresaron a un horno mufla durante 7 minutos a 910°C.

El poder calorífico se determinó al pesar una muestra de 1 g aproximadamente contenida en un crisol de cuarzo que se dispuso sobre el soporte de una bomba calorimétrica con un electrodo de unión entre el carbón y el circuito de la bomba que se llenó con oxígeno a 30 atm. Luego se acopló un recipiente calorimétrico lleno de agua a temperatura ambiente y un termómetro, se provocó la ignición y se midió la diferencia de temperatura, se lavó con agua destilada la parte interior de ésta junto con el crisol; el producto obtenido del lavado se dispuso en un vaso de precipitado completando una solución de 250 ml con agua destilada. Luego se midió la cantidad de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  necesario para titular el contenido del vaso de precipitado y así corregir la acidez de la solución.

Para determinar el contenido de azufre se tomó la solución titulada con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y se agregó 1 mL de  $\text{NH}_4\text{OH}$ , se calentó hasta bullir y se filtró en papel cualitativo. Luego se adicionó agua saturada de bromo acidificada con HCL y se hirvió para eliminar el bromo liberado.

Después se neutralizó la solución con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  usando metil naranja y se agregó 1 mL de HCL. Nuevamente se puso a bullir la solución durante 15 minutos adicionando lentamente con una pipeta una solución de 10 mL de  $\text{BaCl}_2$  y se dejó la solución en reposo durante 2 horas. Se filtró la solución sobre papel cualitativo y se lavó con agua caliente para introducirlo en un crisol e incinerarlo sin producir llama en un horno mufla a  $950\text{ }^\circ\text{C}$  y así medir el peso del producto incinerado.

## 4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN UTILIZADO EN LA LADRILLERA VERSALLES

El carbón empleado como combustible en el proceso de elaboración de ladrillos en la empresa ladrillera Versalles fue caracterizado con el fin de determinar su porcentaje de carbón fijo, poder calorífico, contenido de azufre, entre otras variables indispensables de medición para realizar el cálculo de la huella de carbono. A continuación, se presenta la información obtenida de las mediciones:

#### 4.1.1 Porcentaje de humedad:

Tabla 3: Valores medidos para la determinación del % de humedad de las muestras de carbón.

Muestras	P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]
1	18,4795	19,6827	19,6376
2	18,4856	19,8279	19,7760

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

Dónde:

**P1=** Peso del crisol vacío con tapa [g].

**P2=** Peso del crisol y carbón antes del secado [g].

**P3=** Peso del crisol y carbón después del secado [g].

- **Porcentaje de humedad de la primera muestra:**

$$\% \text{ Humedad muestra 1} = \frac{19,6827 - 19,6376}{19,6827 - 18,4795} * 100 = 3,7483\%$$

- **Porcentaje de humedad promedio de las 2 muestras:**

$$\% \text{ Humedad promedio} = \frac{3,7483 + 3,8665}{2} = 3,8074\%$$

$$\% \text{ Humedad} = 3,8074\%$$

El carbón empleado en la ladrillera Versailles presenta un porcentaje de humedad de 3,8074 %. Se puede decir que el porcentaje es relativamente bajo, esto se puede ver como una ventaja pues en el proceso de extracción al tener un menor peso (por su baja humedad) el consumo energético no es tan elevado y no se requiere un

consumo calorífico alto para eliminar dicha humedad. Además de esto estas condiciones son favorables pues hace que en el proceso de trituración y molienda se obtenga un material fino sin posibles aglomeraciones.

#### 4.1.2 Porcentaje de cenizas:

Tabla 4: Valores medidos para la determinación del % de cenizas de las muestras de carbón.

Muestras	P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]
1	18,1366	19,8095	18,2573
2	17,3999	18,4389	17,4681

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

Dónde:

**P1**= Peso del crisol vacío con tapa [g].

**P2**= Peso del crisol y carbón antes del secado [g].

**P3**= Peso del crisol y carbón después del secado [g].

- **Porcentaje de cenizas de la primera muestra:**

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{18,2573 - 18,1366}{19,8095 - 18,1366} * 100 = 7,2150\%$$

- **Porcentaje de cenizas promedio de las 2 muestras:**

$$\% \text{ Cenizas promedio} = \frac{7,2150 + 6,5640}{2} = 6,8895\%$$

$$\% \text{ Cenizas} = 6,8895\%$$

El porcentaje de cenizas es de 6,8895 %, este valor es muy favorable ya que mientras menor sea el porcentaje de cenizas, mayor es la calidad del carbón, siendo mayor su poder calorífico logrando minimizar los costos y la energía empleada, por lo tanto, se considera un carbón de óptima calidad.

#### 4.1.3 Porcentaje de materia volátil:

**Tabla 5: Valores medidos para la determinación del % de materia volátil de las muestras de carbón.**

Muestras	P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	% Humedad
1	25,1648	26,1604	25,7899	3,7483
2	21,4896	22,4889	22,0676	3,8664

$$\% \text{ Materia volátil} = X - \% \text{ Humedad}$$

$$X = \frac{P2 - P3}{P2 - P1} * 100$$

Dónde:

**X**= Porcentaje de peso perdido.

**P1**= Peso del crisol vacío con tapa [g].

**P2**= Peso del crisol y carbón antes del secado [g].

**P3**= Peso del crisol y carbón después del secado [g].

- **Porcentaje de peso perdido de la primera muestra:**

$$X = \frac{26,1604 - 25,7899}{26,1604 - 25,1648} * 100 = 37,2137\%$$

- **Porcentaje de materia volátil de la primera muestra:**

$$\% \text{Materia volátil} = 37,2137 - 3,7483 = 33,4654\%$$

- **Porcentaje de materia volátil promedio de las 2 muestras:**

$$\% \text{ Materia volátil promedio} = \frac{33,4654 + 38,293}{2} = 35,8792\%$$

$$\% \text{ Materia volátil} = 35,8792 \%$$

Se observó un tamaño de llama uniforme junto con una estabilidad de la combustión con un porcentaje alto de materia volátil de 35,8792%, el cual representa la facilidad de combustión que tiene el carbón.

#### 4.1.4 Poder calorífico:

**Tabla 6: Valores medidos para la determinación del poder calorífico de las muestras de carbón.**

Muestras	Peso [g]	$\Delta$ de Temperatura [°C]	mL de Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Alambre quemado [mm]	Q $\left[ \frac{BTU}{Lb} \right]$
1	1,0383	2,90	4,50	52	14148.0703
2	1,0011	2,87	4,60	44	14003.2461

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

Dónde:

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

**C**= Capacidad térmica del calorímetro= 5088,366  $\left[\frac{BTU}{Lb}\right] * \left[\frac{g}{^{\circ}C}\right]$ .

**ΔT**=Incremento de la temperatura.

**m**= Peso de la muestra.

**e1**= Calor de combustión del algodón usado =7524\*peso de algodón usado,  $\left[\frac{BTU}{Lb}\right] * g$ .

**e2**= Calor de combustión del alambre fusible Ni-Cr= (0,41) \*(mm de alambre quemado)  $\left[\frac{BTU}{Lb}\right] * g$ .

**e3**= Calor de formación de ácido sulfúrico= (10) \*(mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> usados)  $\left[\frac{BTU}{Lb}\right] * g$ .

- Poder calorífico de la primera muestra:

$$\begin{aligned} \text{Poder calorífico } Q &= \\ \frac{(2,90) * (5088,366) - 0 - (0,41)(52) - (10)(4,50)}{1,0383} \\ &= 14148,0703 \left[ \frac{BTU}{Lb} \right] \end{aligned}$$

- Poder calorífico promedio de las 2 muestras:

*Poder calorífico promedio Q =*

$$\begin{aligned} \frac{14148,0703 + 14523,5945}{2} &= \\ 14335,8324 \left[ \frac{BTU}{Lb} \right] \end{aligned}$$

$$\text{Poder calorífico } Q = 14335,8324 \left[ \frac{BTU}{Lb} \right]$$

El carbón presentó un poder calorífico de 14335,8324 [BTU/Lb] lo cual representa la cantidad total de calor desprendido en la oxidación completa es decir cuando el carbono pase a dióxido de carbono.

#### 4.1.5 Porcentaje de azufre:

*Tabla 7: Valores medidos para la determinación del % de azufre de las muestras de carbón.*

Muestras	Peso [g]	BaSO <sub>4</sub> pesado [g]
1	1,0383	0,1016
2	1,0011	0,1010

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

Donde:

**A**= BaSO<sub>4</sub> pesado en la determinación [g].

**B**= BaSO<sub>4</sub> pesado en el blanco= 0,000624

**M**= Peso de la muestra [g].

- **Porcentaje de azufre de la primera muestra:**

$$\% \text{ Azufre} = \frac{(0,1016 - 0,000624) * 13,738}{1,0383} = 1,3360\%$$

- **Porcentaje de azufre promedio de las 2 muestras:**

$$\% \text{ Azufre} = \frac{1,3360 + 1,3775}{2} = 1,3568\%$$

$$\% \text{ Azufre} = 1,3568\%$$

El porcentaje de azufre determinado para el carbón fue de 1,3568%, valor favorable ya que siempre se busca que el carbón tenga concentraciones de azufre muy pequeñas para que no se generen gases tóxicos ni productos corrosivos que puedan ser liberados al medio ambiente.

#### 4.1.6 Carbono Fijo:

**Tabla 8: Caracterización completa del carbón.**

Característica	Porcentaje
Humedad	3,8074
Cenizas	6,8895
Materia volátil	35,8792
Poder calorífico	14335,8324
Contenido de Azufre	1,3568
Carbono fijo	52,0671

$$\%Carbono\ fijo =$$

$$100\% - \%Humedad - \%Cenizas - \%Materia\ volátil - \%Azufre$$

$$\%Carbono\ fijo = 100 - 3,8074 - 6,8895 - 35,8792 - 1,3568$$

$$\%Carbono\ fijo = 52,0671\%$$

El carbono fijo de la muestra dio un total de 52,0671%, de lo anterior se puede decir que es un valor relativamente alto ya que es el total del carbono que no es volátil y que hace de combustible en estado sólido generando huella de carbono.

El carbono fijo junto con el poder calorífico y la materia volátil; son los factores que se tienen en cuenta para la clasificación de carbones por rango según la norma ASTM D388. Para el caso particular y luego de realizar los análisis de las mediciones presentadas en la tabla 8 y siguiendo los lineamientos de la norma, se deduce que el carbón usado en la ladrillera Versailles es un Bituminoso Alto Volátil A, por sus valores de poder calorífico, su porcentaje de carbono fijo menor que 69% y su porcentaje de materia volátil mayor al 31%.

Este tipo de carbón bituminoso es relativamente duro, es un producto de alta calidad fabricado a partir de hulla bituminosa adecuado para la eliminación de moléculas grandes , es activado con vapor debido a que no contiene agentes químicos que puedan potencialmente reaccionar de manera desfavorable con el medio donde es utilizado, tiene un pH casi neutro, presenta una alta resistencia a la erosión debido a su alta dureza por lo que tiene un mínimo en pérdidas en procesos de retrolavado y regeneración.

Ilustración 9. Clasificación de los carbones por rango.

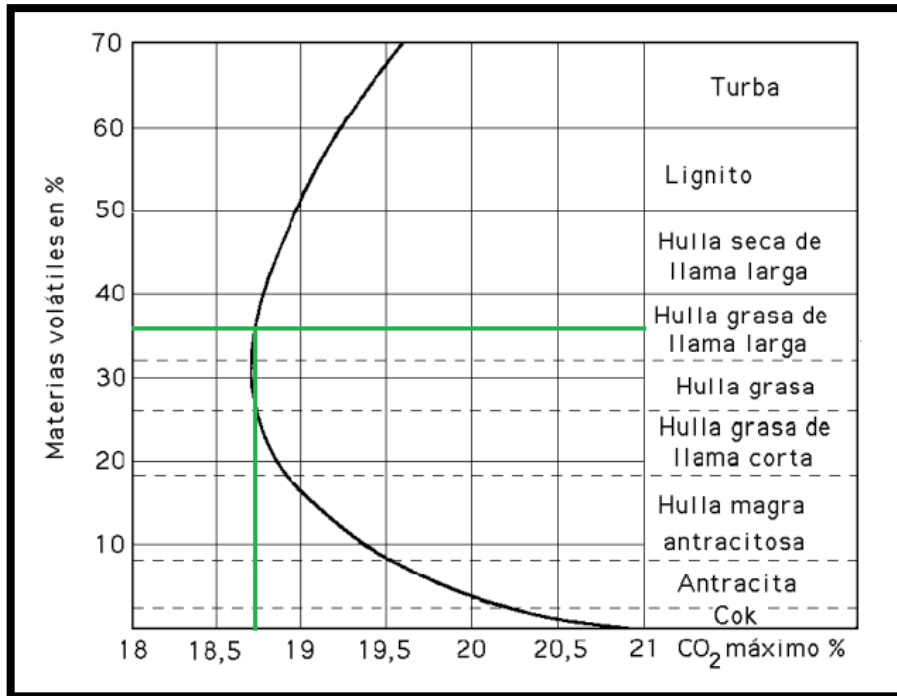
Clase/Grupo	Límites de Carbono Fijo		Límites de Materia Volátil		Límites de Poder Calorífico			
	%, (Base seca libre de materia mineral)		%, (Base seca libre de materia mineral)		%, (Base húmeda libre de materia mineral)			
	Igual o mayor que	Igual o menor que	Igual o mayor que	Igual o menor que	Btu/Lb	Mj/Kg		
<b>Antracita:</b>								
Metaantracita	98	...	...	2	...	...	...	...
Antracita	92	98	2	8	...	...	...	...
Semiantracita	86	92	8	14	...	...	...	...
<b>Bituminoso:</b>								
Bajo Volátil	78	86	14	22	...	...	...	...
Medio Volátil	60	78	22	31	14000	...	22,6	...
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
<b>Subbituminoso</b>								
Subbituminoso A	...	...	...	...	10500	11500	24,4	26,7
Subbituminoso B	...	...	...	...	9500	10500	22,1	24,4
Subbituminoso C	...	...	...	...	8300	9500	19,3	22,1
<b>Lignito:</b>								
A	...	...	...	...	6300	8300	14,7	19,3
B	...	...	...	...	...	6300	...	14,7

Fuente: ASTM D388.

## 4.2 APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE OSTWALD

Apoyados en la gráfica de Schultes junto con el valor del porcentaje de la materia volátil calculada anteriormente es posible determinar el CO<sub>2</sub> máximo, dato que posteriormente utilizaremos en la aplicación del diagrama de OSTWALD.

**Ilustración 10. Gráfica auxiliar de Schultes para la determinación del CO<sub>2</sub> máximo.**



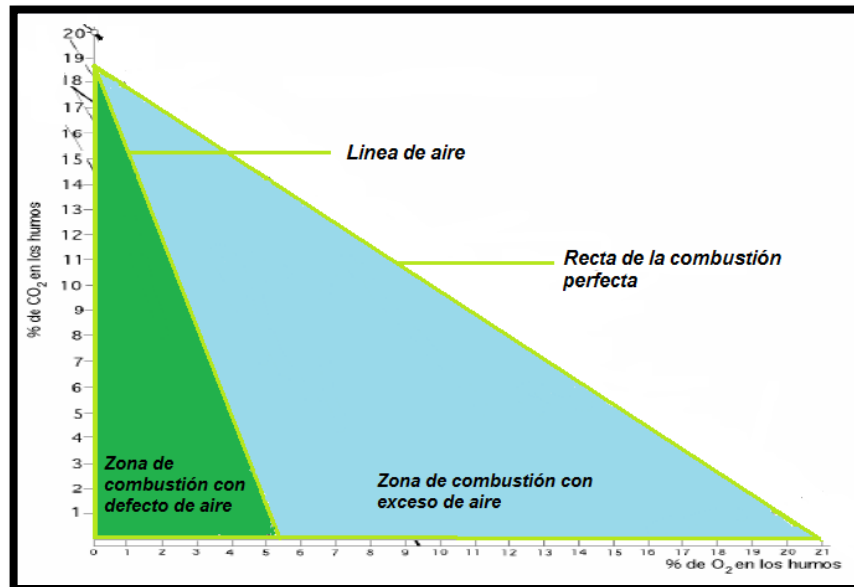
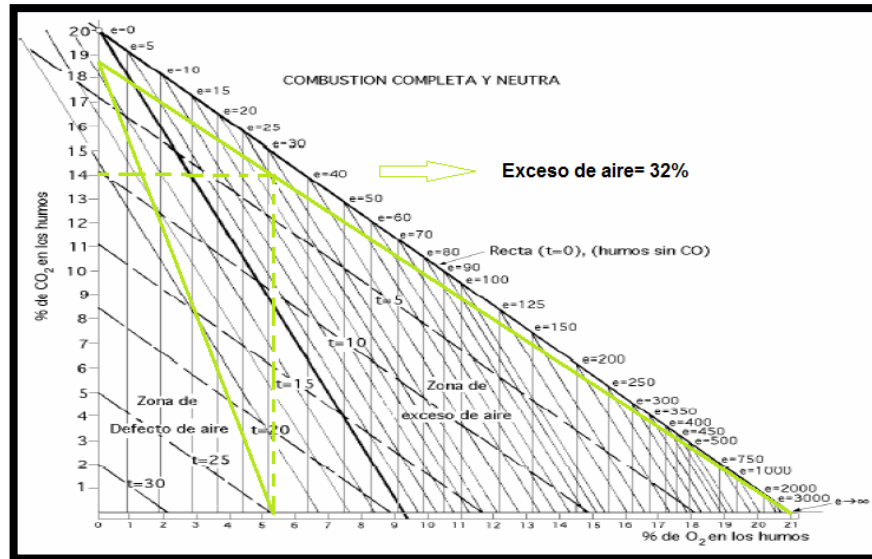
**Fuente: “Combustión”. Disponible:**

<http://files.pfernandezdiez.es/Termodinamica/PdFs/16Termod.pdf>

De la Figura 9 es posible determinar que el carbón analizado, el cual posee un porcentaje de materia volátil de 35,8792 % corresponde efectivamente a una Hulla grasa de llama larga (bituminoso) donde el nivel de CO<sub>2</sub> máximo generado en combustión es de 18,7%.

Con el valor de CO<sub>2</sub> máximo generado en combustión (18,7%) y tomando un exceso de aire del 32%, es posible determinar la cantidad de O<sub>2</sub> límite entre las dos zonas (5,3%) y así elaborar el diagrama de Ostwald correspondiente al carbón utilizado en la ladrillera Versailles, logrando plasmar claramente la zona de combustión con defecto de aire y la zona de combustión con exceso de aire como se muestra a continuación:

Ilustración 11. Diagrama de Ostwald del carbón utilizado en la ladrillera Versalles.

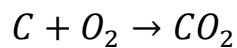


Fuente: "Combustión". Escuela Superior Politécnica del Litoral. Disponible: <http://www.cdt.espol.edu.ec/documentos/apuntes%20de%20combustion.pdf>  
Modificado por Autores.

### 4.3 CALCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

Para el cálculo de la huella de carbono hubo 3 aspectos fundamentales: Las emisiones generadas por el horno tipo colmena, el consumo de energía eléctrica del equipo de producción y administración y el consumo de combustible de los vehículos involucrados.

**Calculo de CO<sub>2</sub> en Kilogramos de las emisiones generadas por el horno tipo colmena:**



$$3500 \text{ Kg} * 0,520671 = 1822,3485 \text{ Kg de C}$$

$$1822,3485 \text{ Kg de C} * \frac{1000 \text{ g de C}}{1 \text{ Kg de C}} * \frac{1 \text{ mol de C}}{12 \text{ g de C}}$$
$$= 151862,375 \text{ moles de C}$$

$$151862,375 \text{ moles de C} * \frac{1 \text{ mol de CO}_2}{1 \text{ mol de C}}$$

$$= 151862,375 \text{ moles de CO}_2$$

$$151862,375 \text{ moles de CO}_2 * \frac{44,01 \text{ g de CO}_2}{1 \text{ mol de CO}_2}$$

$$= 6683463,124 \text{ g de } CO_2$$

$$6683463,124 \text{ g de } CO_2 * \frac{1 \text{ Kg de } CO_2}{1000 \text{ g de } CO_2}$$

$$= 6683,4631 \text{ Kg de } CO_2$$

$$CO_2 \text{ Horno} = 6683,4631 \text{ Kg de } CO_2 \text{ equivalente}$$

**Tabla 9: Consumo de energía eléctrica del equipo de producción del proceso de elaboración de ladrillos en ladrillera Versalles.**

Proceso	Consumo [Kw/h]
Trituración y molienda	88,325
Extrusión	197,753
Secado	52,349
Calcinación	41,072

**Calculo de CO<sub>2</sub> en Kilogramos del consumo de energía eléctrica del equipo de producción del proceso de elaboración de ladrillos:**

$$Kg \text{ } CO_2 \text{ equivalente} = \text{Factor de emisión} * \text{Cantidad de actividad}$$

- **Para el proceso de trituración y molienda:**

$$\begin{aligned} Kg CO_2/día &= 0,175737 \frac{Kg CO_2}{Kw} * 88,325 \frac{Kw}{h} \\ &= 15,522 Kg CO_2 * 24 h = 372,528 Kg CO_2 \text{ diarios} \end{aligned}$$

- **Para el proceso de extrusión:**

$$\begin{aligned} Kg \frac{CO_2}{día} &= 0,175737 \frac{Kg CO_2}{Kw} * 197,753 \frac{Kw}{h} = 34,753 Kg CO_2 * 24 h \\ &= 834,072 Kg CO_2 \text{ diarios} \end{aligned}$$

- **Para el proceso de secado:**

$$\begin{aligned} Kg \frac{CO_2}{día} &= 0,175737 \frac{Kg CO_2}{Kw} * 52,349 \frac{Kw}{h} = 9,199 Kg CO_2 * 24 h \\ &= 220,776 Kg CO_2 \text{ diarios} \end{aligned}$$

- **Para el proceso de calcinación:**

$$\begin{aligned} Kg \frac{CO_2}{día} &= 0,175737 \frac{Kg CO_2}{Kw} * 41,072 \frac{Kw}{h} = 7,218 Kg CO_2 * 24 h \\ &= 173,232 Kg CO_2 \text{ diarios} \end{aligned}$$

**Tabla 10: Consumo de energía en Kg de CO<sub>2</sub>/día del equipo de producción del proceso de elaboración de ladrillos en ladrillera Versalles.**

Proceso	Consumo [Kg CO <sub>2</sub> /día]
Trituración y molienda	372,528
Extrusión	834,072
Secado	220,776
Calcinación	173,232

*CO<sub>2</sub> Equipo de producción =*

*CO<sub>2</sub> Trituración y molienda + CO<sub>2</sub> Extrusión + CO<sub>2</sub> Secado  
+ CO<sub>2</sub> Calcinación*

*CO<sub>2</sub> Equipo de producción =*

*372,528 + 834,072 + 220,776 + 173,232*

***CO<sub>2</sub> Equipo de producción = 1600,608 Kg de CO<sub>2</sub>/día***

**Calculo de CO<sub>2</sub> en Kilogramos del consumo de energía eléctrica del equipo de administración del proceso de elaboración de ladrillos:**

Consumo eléctrico por parte de la administración=0,350 Kw/h

**Kg CO<sub>2</sub> equivalente = Factor de emisión \* Cantidad de actividad**

$$\begin{aligned} \text{Kg CO}_2/\text{día} &= 0,175737 \frac{\text{Kg CO}_2}{\frac{\text{Kw}}{\text{h}}} * 0,350 \frac{\text{Kw}}{\text{h}} = 0,0615 \text{ Kg CO}_2 * 24 \text{ h} \\ &= 1,476 \text{ Kg CO}_2 \text{ diarios} \end{aligned}$$

**CO<sub>2</sub> Equipo de administración = 1,476 Kg de CO<sub>2</sub>/día**

$$\begin{aligned} &\text{CO}_2 \text{ producción y administración} = \\ &\text{CO}_2 \text{ Equipo de producción} + \text{CO}_2 \text{ Equipo de administración} = \\ &1600,608 + 1,476 \end{aligned}$$

**CO<sub>2</sub> Producción y administración =**  
**1602,084 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente**

**Tabla 11: Consumo de combustible de los vehículos involucrados en la elaboración de ladrillos de ladrillera Versalles.**

Tipo de vehículo	Cantidad	Tipo de combustible	Consumo [GPD]
Volquetas	6	ACPM Diésel	31
Camionetas	2	ACPM Diésel	8
Cargadores pala	2	ACPM Diésel	14

**Cálculo de CO<sub>2</sub> en Kilogramos generado por el consumo y tipo de combustible de los vehículos:**

$$Kg\ CO_2\ (ACPM\ Diésel) = 10,21\ Kg\ \frac{CO_2}{Gal} * 53\ Gal = 541,13\ Kg\ CO_2$$

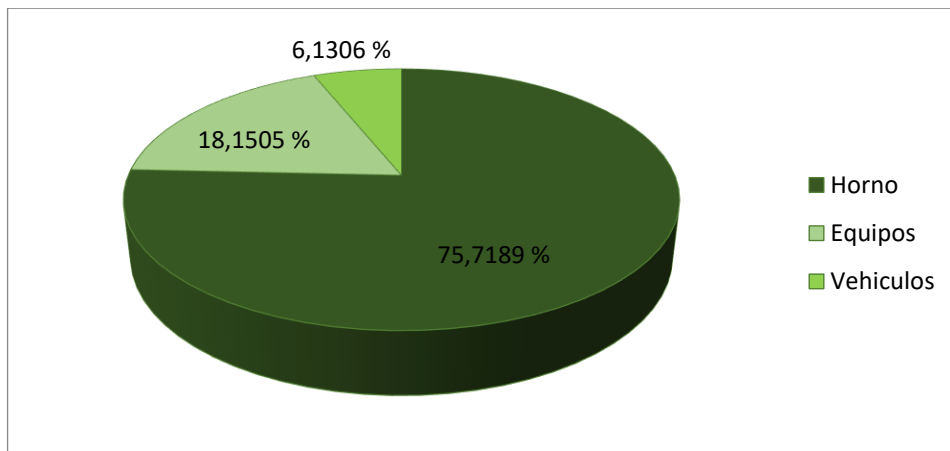
***CO<sub>2</sub> Vehículos involucrados = 541,13 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente***

**Calculo de la HC del proceso de elaboración de ladrillo de la ladrillera Versalles:**

$$\begin{aligned} HC &= CO_2 \text{ Horno} + CO_2 \text{ Producción y administración} \\ &\quad + CO_2 \text{ Vehículos involucrados} \\ &= 6683,4631 + 1602,084 + 541,13 \end{aligned}$$

***HUELLA DE CARBONO (HC) elaboración de ladrillos***  
***= 8826,6771 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente***

**Ilustración 12. Distribución de la cantidad de CO2 emitido.**



La huella de carbono que deja la elaboración de ladrillos en la ladrillera Versalles es de 8826,6771 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente, donde las emisiones generadas por la combustión del carbón en el horno son de 6683,4631 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente que corresponde al 75,7189%, el consumo de energía en los procesos de producción y administración es de 1602,084 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente, que corresponde al

18,1505% y el consumo de combustible de los vehículos involucrados es de 541,13 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente el cual corresponde al 6,1306% .

**Calculo de los Kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente capturados por las hectáreas de pinos y eucaliptos de las instalaciones de la ladrillera Versailles:**

La reserva forestal presente en la ladrillera Versailles, creada como sumidero con el fin de mitigar los GEI generados durante el proceso productivo, consta de un bosque artificial de pinos y eucaliptos con una extensión de 3,8 hectáreas (1,9 de pinos y 1,9 de eucaliptos) con una densidad de siembra de 1100 árboles por hectárea, una altura promedio de 9 m y un diámetro basal promedio de 0,32 m.

**Cálculo del área de la base, volumen de los árboles y volumen real por hectárea:**

$$AB = \frac{\pi}{4} * D^2 = \frac{\pi}{4} * (0,32)^2 = 0,0804 [m^2]$$

$$V = AB * H * Cf = 0,0804 * 9 * 0,5 = 0,3619[m^3]$$

$$V = \text{Volumen del árbol} * \text{densidad de siembra por hectárea} \\ = 0,3619 * 1100 = 398,1026[m^3/ha]$$

**Cálculo de la biomasa aérea:**

$$Biomasa = Volumen\ por\ hectárea * factor\ de\ densidad$$

- **Para pinos:**

$$Biomasa = 398,1026 * 0,48 = 191,0892 [Tn]$$

- **Para eucaliptos:**

$$Biomasa = 398,1026 * 0,60 = 238,8616 [Tn]$$

**Cálculo del carbono fijado por hectárea:**

$$Carbono\ fijado =$$

$$Biomasa * factor\ de\ contenido\ de\ carbono * factor\ de\ expansión$$

- **Para pinos:**

$$\begin{aligned} \text{Carbono fijado} &= 191,0892 * 0,45 * 1,3 = 111,7871[Tn] \\ &= 111787,1[Kg] \end{aligned}$$

- **Para eucaliptos:**

$$\begin{aligned} \text{Carbono fijado} &= 238,8616 * 0,45 * 1,3 = 139,7341[Tn] \\ &= 139734,1[Kg] \end{aligned}$$

**Cálculo del carbono total fijado en las 3,8 hectáreas:**

$$\text{Carbono total fijado} =$$

$$1,9(\text{carbono fijado por pinos} + \text{carbono fijado por eucaliptos})$$

$$\text{Carbono total fijado} = 1,9(111787,1 + 139734,1) = 477890,28[Kg]$$

**Cálculo del CO<sub>2</sub> fijado en el sumidero:**

$$CO_2 \text{ total fijado} = \text{Carbono total fijado} * \frac{44}{12} = 477890,28 * \frac{44}{12}$$

$$= 1752264,36 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{año}} \right] * \left[ \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} \right] = 4800,72 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{día}} \right]$$

***CO<sub>2</sub> Reserva forestal = 4800,72 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente***

*HUELLA DE CARBONO (HC) =*

*Kg de CO<sub>2</sub> elaboración de ladrillos – Kg de CO<sub>2</sub> Reserva forestal*

*HUELLA DE CARBONO (HC) =*

*8826,6771 Kg de CO<sub>2</sub> – 4800,72 Kg de CO<sub>2</sub>*

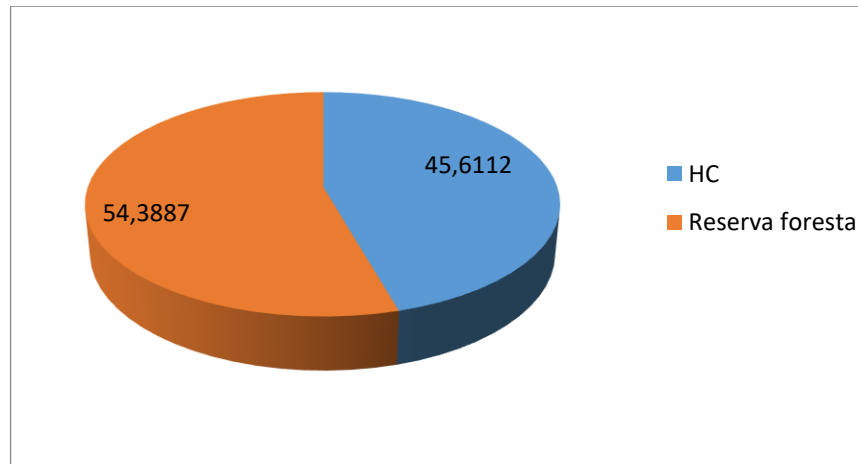
***HUELLA DE CARBONO (HC) =***

***4025,9571 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente***

Tabla 12. Caracterización completa del sumidero.

VARIABLE	ESPECIE	
	Pino	Eucalipto
Extensión [ha]	1,9	1,9
Altura promedio [m]	9	9
Densidad de siembra [árb./ha]	1100	1100
Área basal [m <sup>2</sup> ]	0,0804	0,0804
Factor de contenido de carbono	0,5	0,5
Volumen del árbol [m <sup>3</sup> ]	0,3619	0,3619
Volumen real por hectárea [m <sup>3</sup> /ha]	398,1026	398,1026
Factor de densidad [Tn materia seca/m <sup>3</sup> ]	0.48	0.60
Factor de contenido de carbono (Tn de carbono/ Tn de materia seca)	0.45	0.45
Biomasa por hectárea [Tn]	191,0892	238,8616
Factor de expansión	1,3	1,3
Contenido de Carbono [Tn/ha]	111,7871	139,7341
Carbono total fijado [Kg]	477890,28	
CO <sub>2</sub> total fijado [ $\frac{Kg}{año}$ ]	1752264,36	

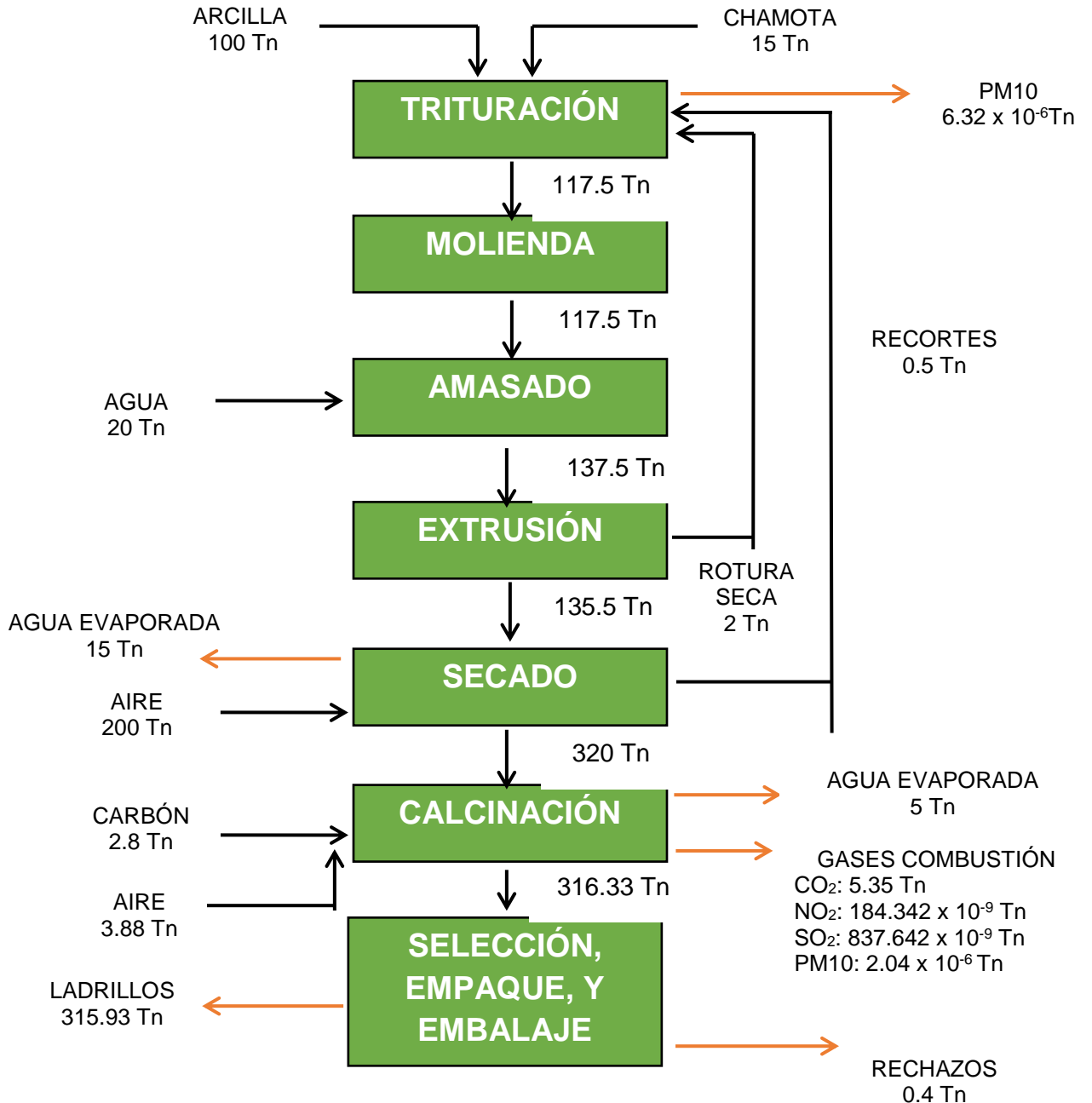
**Ilustración 13. Distribución de la HC y su porcentaje de mitigación.**



Finalmente, de acuerdo a los valores determinados anteriormente, la Huella de carbono total es de 8826,6771 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente, con una mitigación debido a las hectáreas de pinos y eucaliptos de 4800,72 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente que corresponde a un 54,3887 % del valor total.

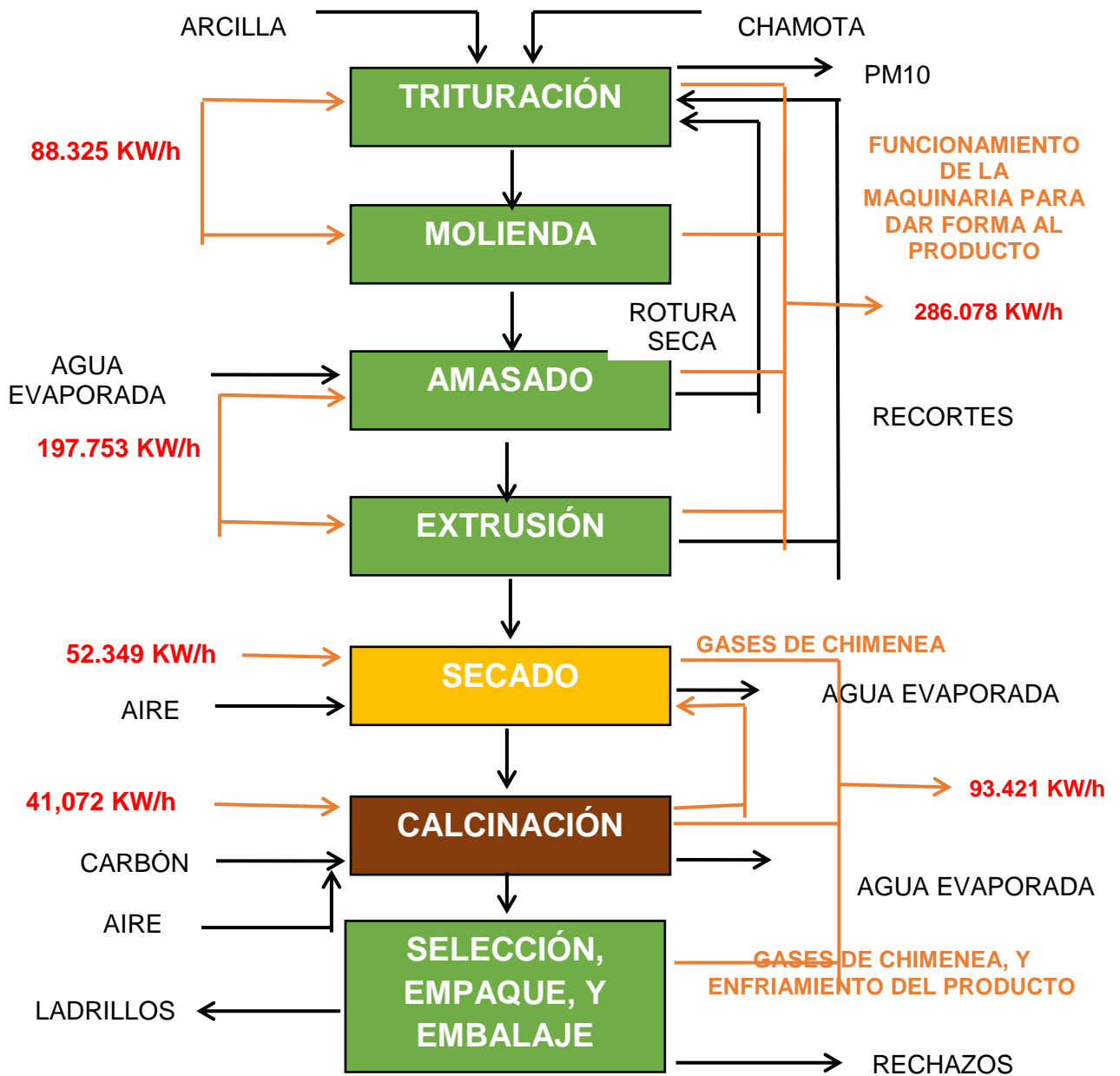
#### 4.4 BALANCE DE MASA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE DERIVADOS DE ARCILLA EN LA LADRILLERA VERSALLES

Ilustración 14. Balance de Masa del proceso de fabricación de derivados de arcilla en la ladrillera Versalles



## 4.5 BALANCE DE ENERGÍA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE DERIVADOS DE ARCILLA EN LA LADRILLERA VERSALLES

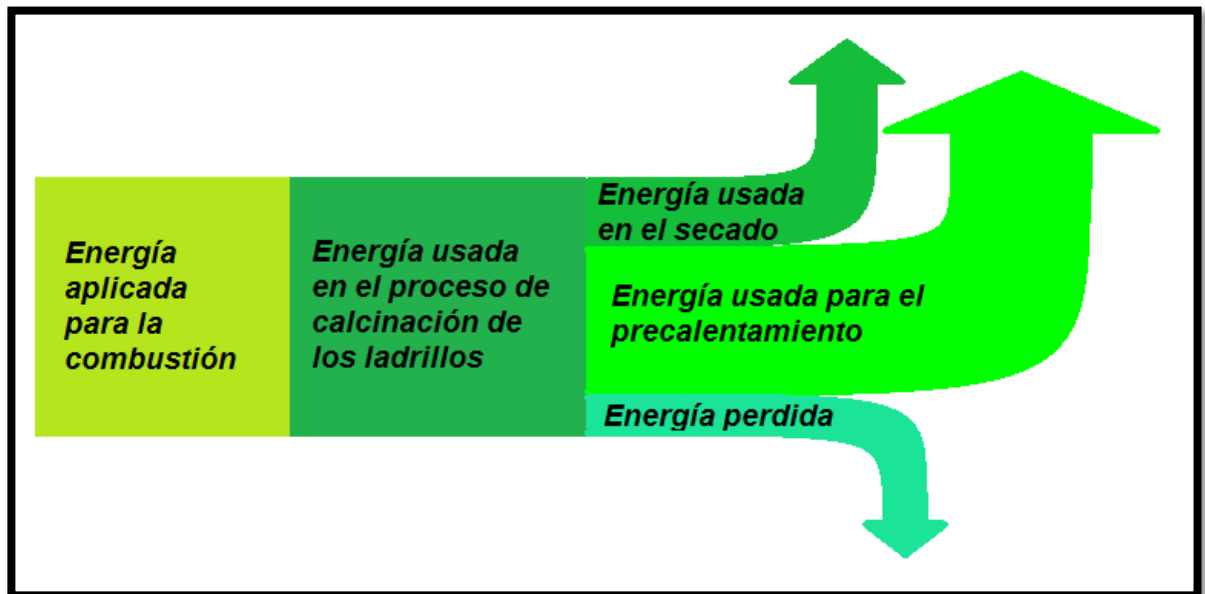
Ilustración 15. Balance de Energía del proceso de fabricación de derivados de arcilla en la ladrillera Versalles.



#### 4.6 APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE SANKEY

A continuación, mediante un diagrama de Sankey se muestra de manera global el balance energético del sistema térmico de combustión del horno tipo colmena utilizado en la ladrillera Versailles. Fue elaborado teniendo en cuenta la energía de combustión aplicada, la energía utilizada en el proceso de cocción de los ladrillos, la correspondiente energía usada para precalentar el horno, la utilizada para el secado de los productos y finalmente la energía que se pierde durante todo el proceso.

Ilustración 16. Diagrama de Sankey correspondiente al horno tipo colmena de la ladrillera Versailles.



En el anterior diagrama se puede observar que la zona más significativa es la del proceso de calcinación debido a que es allí donde se alcanzan las temperaturas más altas gracias a la previa combustión del combustible (carbón) y por otra parte la energía que se pierde es muy poca en este proceso ya que la mayoría de la

temperatura es absorbida por las piezas arcillosas para obtener así todas las propiedades necesarias y demandadas por el cliente sin que quepa la posibilidad de sufrir cambios en su estructura lo cual puede contribuir a una disminución en la calidad y en su apariencia superficial.

## 5 CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis de resultados desarrollado anteriormente se concluye que:

El carbón utilizado como combustible para el proceso de calcinación de ladrillos en la ladrillera Versailles es un carbón bituminoso tipo A, conocido por sus características excepcionales en generación de energía debido a su bajo % de humedad, bajo % de azufre, bajo % de cenizas y su considerable % de materia volátil.

El exceso de aire presente en el horno tipo colmena es de 32% aproximadamente, este valor fue utilizado para la posterior elaboración del diagrama de Ostwald donde cabe aclarar que se busca aumentar dicho porcentaje para lograr una eficiencia mayor en el proceso de cocción.

La huella de carbono presente en el proceso de elaboración de ladrillos de la ladrillera Versailles fue de 6286,954 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente diarios, presentando una mitigación de 4800,72 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente/día debido a sus hectáreas de bosque, dando como resultado 1486,234 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente/día, esto quiere decir que los sumideros reducen en un 76,36 % la huella de carbono, por lo tanto, es relevante considerar sumideros para mitigar los GEI de las industrias.

A pesar que el sector ladrillero ha venido creciendo en los últimos años debido al auge del sector inmobiliario y de la construcción, existen pocas investigaciones enfocadas en la medición de la generación de emisiones al medio y sus posibles daños ecológicos.

Luego de realizar los respectivos análisis de la información acerca de los procesos llevados a cabo en la empresa, se pudo notar que la industria ladrillera presenta 3 fuentes principales generadoras de GEI: El uso de carbón para realizar la calcinación de las piezas, el consumo de energía eléctrica por parte del sector de producción y administración y el uso de combustibles fósiles como ACPM para el parque automotor encargado de la extracción y remolque de la materia prima.

## 6 RECOMENDACIONES

Es muy importante seguir destinando hectáreas de terreno con el fin de sembrar especies vegetales que fijen mayor porcentaje de carbono con el fin de contribuir a una máxima reducción de las emisiones de GEI generadas en la empresa.

La implementación de motores que funcionen con gas como combustible para reemplazar los que funcionan con combustibles fósiles también es una alternativa que ayudará a reducir las emisiones de GEI y su impacto en el medio ambiente.

La revisión periódica de los equipos para que estén en óptimas condiciones de trabajo es un factor importante para evitar desperdicios de energía y consumo innecesario de electricidad, por lo tanto, es importante realizar el respectivo mantenimiento de la maquinaria según el proveedor del equipo sugiera.

## BIBLIOGRAFIA

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. Inventario nacional de Gases de Efecto Invernadero. Colombia. 2012. [Consulta: 20 enero 2016]. Disponible en <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participación-ciudadana/publicaciones-ideam>

MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono. Gobierno de España. Madrid. 2015. [Consulta: 2 febrero 2016]. Disponible en <http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/proyectos-absorcion-co2.aspx>.

MINISTERIO DE AMBIENTE. estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea de los bosques de Perú. Perú. 2104. [Consulta: 2 febrero 2016]. Disponible en: [http://www.bosques.gob.pe/archivo/libro\\_carbono.pdf](http://www.bosques.gob.pe/archivo/libro_carbono.pdf)

MORENO GARCÍA, José Edwin. Estimación de la Huella de Carbono en una planta extractora de aceite de palma en Colombia. Trabajo de grado Administrador de Empresas. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería de sistemas e industrial. 2013. 113 p.

OFICINA ESPAÑOLA DE CAMBIO CLIMÁTICO. MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. Guía para el cálculo de la Huella de Carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización. Gobierno de España. Madrid. 2015. [Consulta: 10 enero 2016]. Disponible: [http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia\\_huella\\_carbono\\_tcm7-379901.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm7-379901.pdf)

ORDÓÑEZ, José Antonio. Almacenamiento de carbono en un bosque de Pinus pseudostrobus en Nuevo San Juan, Michoacán. En: Madera y Bosques. Otoño, 2011. Vol. 7, no. 2. p. 27-47

ORDÓÑEZ, José Antonio. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. Trabajo de grado licenciatura. México. Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. Instituto nacional de ecología INE-SERMANAP. 1999. 74 p. [Consulta: 10 febrero 2016]. Disponible en <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/296.pdf>.

PLAN REGIONAL INTEGRAL DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIÓN CAPITAL BOGOTÁ-CUNDINAMARCA. Inventario de emisiones de Gases de efecto invernadero para la región Bogotá-Cundinamarca. 2012. [Consulta: 15 marzo 2016]. Disponible en: <http://saga.cundinamarca.gov.co/apps/PRICC/resources/Informes/07.pdf>

SÁNCHEZ PÉREZ, Germán. Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia. En: Economía y Desarrollo, Fundación Universidad Autónoma de Colombia. Marzo, 2002. Vol. 1, no. 1. p. 80-98.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. Protocolo de gases de efecto invernadero. México. [Consulta: 20 enero 2016]. Disponible en: 2005. [http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/protocolo\\_de\\_gei.pdf](http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/protocolo_de_gei.pdf)

VANEGAS VARGAS, María, RODRÍGUEZ, Alina, SALAZAR ROJAS, Teresa. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero. Instituto tecnológico de Costa Rica. 2015. P 20.

ZAMORA COLLAZO, Juan C. Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino El Ejido “La Mojada” municipio de Periban de Ramos,

Michoacán. Trabajo de grado ingeniero agrónomo. Facultad de Agro biología  
Presidente Juárez. Universidad de Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Facultad  
de agro biología. 2003. 59 p.

**ANEXO A. Factores de emisión promedio de electricidad según la agencia internacional de energía (IEA)**

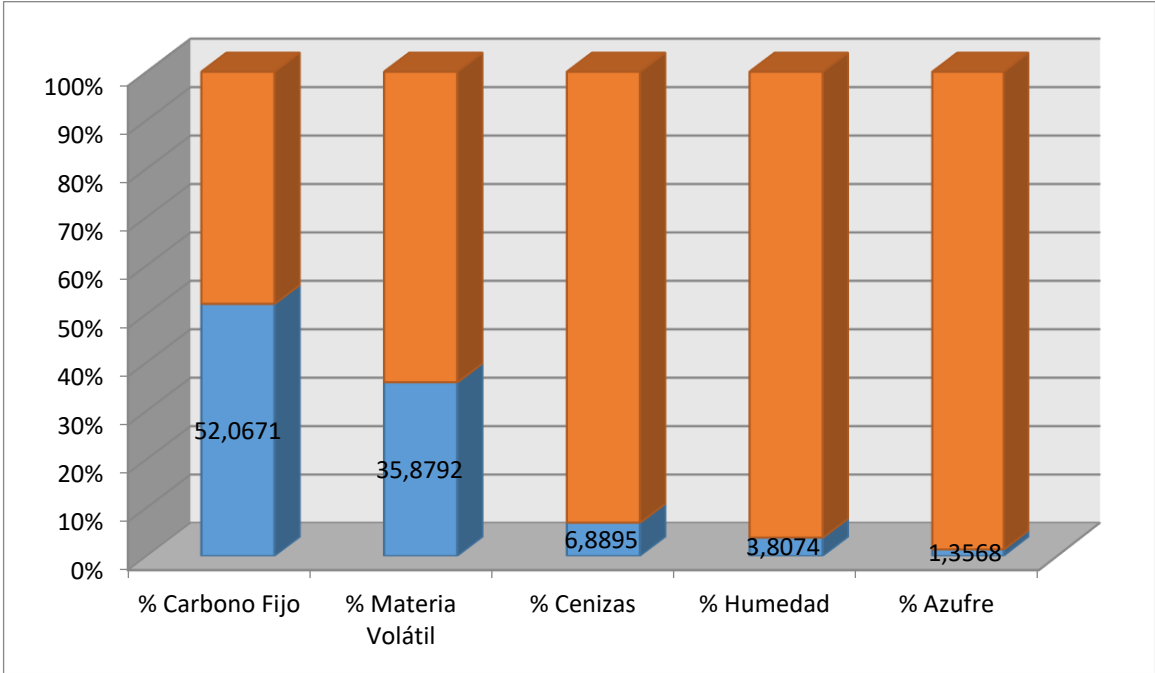
	Pais	g CO <sub>2</sub> / Kwh
	2010 World	528.6578
1	North America	481.1105
2	Europe	290.3229
3	Asia Oceania	481.2633
4	OECD Total	433.4404
5	Non-OECD Total	627.6285
6	Canada	186.4102
7	Chile	409.6667
8	Mexico	454.8341
9	United States	522.2489
10	OECD Americas	478.9499
11	Australia	840.9243
12	Israel	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

	Pais	g CO <sub>2</sub> / 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	Tajkistan	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

	Pais	g CO <sub>2</sub> / 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	DRR 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

	Pais	g CO <sub>2</sub> / 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

**ANEXO B. Diagrama de las características del carbón.**



**ANEXO C: Esquema del proceso de fabricación de ladrillos en la ladrillera Versalles.**





## ANEXO D: Factores de emisión en Kg de CO<sub>2</sub> equivalente.

Categories			Label		Default value	
Category 1	Category 2	Category 3	Title	Unit	Emission factor (kg CO <sub>2</sub> eq per unit)	Uncertainty
Conversion	Gas	GWP	GWP CH4	kg	25.00	0%
Conversion	Gas	GWP	GWP N2O	kg	298.00	0%
Energy	Electricity	Country	Canada	kWh	0.19	10%
Energy	Heat	Combustible	Black coal	kWh	0.32	
Energy	Heat	Combustible	Brown coal	kWh	0.40	10%
Energy	Heat	Combustible	Brown coal briquette	kWh	0.40	10%
Energy	Heat	Combustible	Brown coal coke	kWh	0.50	10%
Energy	Heat	Combustible	CNG	kWh	0.18	
Energy	Heat	Combustible	Coal coke	kWh	0.39	10%
Energy	Heat	Combustible	Crude oil	kWh	0.27	5%
Energy	Heat	Combustible	Diesel (kWh)	kWh	0.30	5%
Energy	Heat	Combustible	Diesel (liter)	liter	2.79	5%
Energy	Heat	Combustible	Ethane	kWh	0.20	
Energy	Heat	Combustible	Fuel oil (kWh)	kWh	0.29	5%
Energy	Heat	Combustible	Fuel oil (liter)	liter	3.19	5%
Energy	Heat	Combustible	Gas flared	kg	3.53	
Energy	Heat	Combustible	Kerosene	kWh	0.27	5%
Energy	Heat	Combustible	LNG (kWh)	kWh	0.21	5%
Energy	Heat	Combustible	LPG (liter)	liter	1.69	10%
Energy	Heat	Combustible	Natural gas	kWh	0.21	5%
Energy	Heat	Combustible	Petroleum coke	kWh	0.35	10%
Energy	Heat	Combustible	UNG	kWh	0.18	
Energy	Heat	Organic combustible	Biodiesel (kWh)	kWh	0.01	
Energy	Heat	Organic combustible	Biodiesel (liter)	liter	0.81	
Energy	Heat	Organic combustible	Bioethanol	kg	1.21	10%
Energy	Heat	Organic combustible	Biogas (kg)	kg	1.61	
Energy	Heat	Organic combustible	Biogas (kWh)	kWh	0.02	
Energy	Heat	Organic combustible	Biogas (m3)	m3	0.12	
Energy	Heat	Organic combustible	Biomass (kg)	kg	0.11	10%
Energy	Heat	Organic combustible	Biomass (kWh)	kWh	0.03	10%
Energy	Heat	Organic combustible	Methanol	kg	0.30	
Energy	Heat	Organic combustible	Petrol, 85% ethanol	kg	1.16	
Energy	Heat	Steam	Steam	kg	0.61	0%
Material	Building	Insulation	Glasswool	kg	1.35	
Material	Building	Insulation	Insulation	kg	1.86	
Material	Building	Insulation	Mineral wool	kg	1.20	
Material	Building	Insulation	Wool	kg	0.15	
Material	Building	Insulation	Wool r.	kg	3.17	
Material	Construction material	Cement	Cement	kg	0.89	20%
Material	Construction material	Concrete	Concrete (kg)	kg	0.15	20%
Material	Construction material	Concrete	Concrete (m3)	m3	263.00	
Material	Construction material	Concrete	Reinforced concrete	kg	0.36	20%
Material	Construction material	Fibre	Fibreglass	kg	2.60	20%
Material	Construction material	Gravel	Gravel	ton	4.32	
Material	Construction material	Lime	Lime	kg	0.74	
Material	Construction material	Other	Anthracite	kg	0.53	10%
Material	Construction material	Other	Other	kg	3.00	80%
Material	Construction material	Sand	Sand	kg	0.01	
Material	Iron metal	Iron	Cast iron	kg	1.51	
Material	Iron metal	Iron	Iron	kg	1.91	
Material	Iron metal	Steel	Reinforced steel	kg	1.49	
Material	Iron metal	Steel	Stainless steel	kg	6.15	
Material	Iron metal	Steel	Steel	kg	1.77	
Material	Iron metal	Steel	Steel r.	kg	0.88	10%
Material	Iron metal	Steel	Steel v.	kg	3.29	10%
Material	Non Iron metal	Aluminium	Aluminium	kg	8.14	
Material	Non Iron metal	Aluminium	Aluminium r.	kg	2.01	30%
Material	Non Iron metal	Aluminium	Aluminium v.	kg	11.89	30%
Material	Non Iron metal	Copper	Copper	kg	2.77	50%
Material	Non Iron metal	Copper	Copper v.	kg	3.83	
Material	Non Iron metal	Glass	Glass	kg	0.85	
Material	Non Iron metal	Glass	Glass r.	kg	0.73	20%
Material	Non Iron metal	Glass	Glass v.	kg	4.40	20%
Material	Non Iron metal	Lead	Lead	kg	1.64	30%
Material	Non Iron metal	Lead	Lead r.	kg	0.53	
Material	Non Iron metal	Lead	Lead v.	kg	2.61	
Material	Non Iron metal	Nickel	Nickel	kg	11.53	30%
Material	Non Iron metal	Other	Other metal	kg	4.40	80%
Material	Non Iron metal	Zinc	Zinc	kg	3.41	20%

Material	Non Iron metal	Zinc	Zinc r.	kg	0.48	
Material	Non Iron metal	Zinc	Zinc v.	kg	3.86	
Material	Other	Battery&pile	Battery Alkaline	kg	0.07	
Material	Other	Battery&pile	Battery NiCd	kg	0.21	
Material	Other	Battery&pile	Battery NiMH	kg	57.40	
Material	Other	Board	Board	kg	2.20	20%
Material	Other	Monetary	Electronic	kEUR	550.00	50%
Material	Other	Monetary	Mechanical	kEUR	733.33	50%
Material	Other	Monetary	Monetary ratio 1	kEUR	36.67	50%
Material	Other	Monetary	Monetary ratio 2	kEUR	110.00	50%
Material	Other	Monetary	Monetary ratio 3	kEUR	165.00	50%
Material	Other	Monetary	Monetary ratio 4	kEUR	183.33	50%
Material	Other	Monetary	Monetary ratio 5	kEUR	220.00	50%
Material	Other	Monetary	Monetary ratio 9	kEUR	1,833.33	50%
Material	Other	Monetary	Services highly material	kEUR	110.00	50%
Material	Other	Monetary	Services slightly material	kEUR	36.67	50%
Material	Other	Paper	Paper	kg	2.42	20%
Material	Other	Waste	Waste	ton	14.67	50%
Material	Other	Waste	Waste plastics	ton	1,739.67	20%
Material	Plastic	Fibre	GRP	kg	8.10	
Material	Plastic	Other	Other plastic	kg	2.70	20%
Material	Plastic	Rubber	Rubber	kg	3.18	
Material	Plastic	Rubber	Rubber latex	kg	1.63	
Material	Plastic	Rubber	Rubber synt.	kg	4.02	
Material	Plastic	Thermoducible	Polyurethane flex.	kg	4.99	40%
Material	Plastic	Thermoducible	Polyurethane rig.	kg	3.61	
Material	Plastic	Thermoplastic	ABS	kg	3.46	
Material	Plastic	Thermoplastic	EVAC	kg	2.11	
Material	Plastic	Thermoplastic	HDPE r.	kg	1.10	20%
Material	Plastic	Thermoplastic	HDPE v.	kg	1.90	20%
Material	Plastic	Thermoplastic	LDPE r.	kg	1.01	20%
Material	Plastic	Thermoplastic	LDPE v.	kg	2.06	20%
Material	Plastic	Thermoplastic	Nylon	kg	7.90	
Material	Plastic	Thermoplastic	PE	kg	2.40	
Material	Plastic	Thermoplastic	PET r.	kg	1.76	20%
Material	Plastic	Thermoplastic	PET v.	kg	5.44	20%
Material	Plastic	Thermoplastic	Polystyrene	kg	3.07	
Material	Plastic	Thermoplastic	PP gra.	kg	1.95	
Material	Plastic	Thermoplastic	PVC r.	kg	0.48	20%
Material	Plastic	Thermoplastic	PVC v.	kg	2.22	20%
Material	Plastic	Thermoplastic	SAN	kg	3.46	
Process	Water	Other	Tap water	m3	0.32	
Process	Water	Other	Water	m3	0.03	
Process	Water	Other	Water decarb.	m3	0.01	
Process	Water	Other	Water deion.	m3	0.80	
Process	Water	Other	Water soft.	m3	0.02	
Reagent	Chemical	Al(OH)3	Aluminium hydroxide, Al(OH)3	kg	0.66	
Reagent	Chemical	Al2(SO4)3	Aluminium sulphate, powder, Al2(SO4)3	kg	0.50	
Reagent	Chemical	Al2O3	Aluminium oxide, Al2O3	kg	1.23	
Reagent	Chemical	AlCl3	Aluminium chloride, AlCl3	kg	0.60	0%
Reagent	Chemical	Alcool	Alcohol	kg	1.47	25%
Reagent	Chemical	C2Cl4	Tetrachloroethylene, C2Cl4	kg	3.90	
Reagent	Chemical	C2H3ClO2	Chloroacetic acid, C2H3ClO2	kg	2.20	
Reagent	Chemical	C2H6O	Ethanol from ethylene, C2H6O	kg	1.24	
Reagent	Chemical	C2HCl3	Trichloroethylene, C2HCl3	kg	0.45	
Reagent	Chemical	C3H6O	Acetone, liquid, C3H6O	kg	2.19	
Reagent	Chemical	C3H6O	Propanal, C3H6O	kg	3.32	
Reagent	Chemical	C3H7OH	Isopropanol, C3H7OH	kg	1.85	
Reagent	Chemical	C3H8O	1-propanol, C3H8O	kg	3.84	
Reagent	Chemical	C3H8O2	Propylene glycol, C3H8O2	kg	4.14	
Reagent	Chemical	C4H10O	Isobutanol, C4H10O	kg	2.27	
Reagent	Chemical	C4H8O	Tetrahydrofuran, C4H8O	kg	5.78	
Reagent	Chemical	C5H12	Pentane, C5H12	kg	1.09	
Reagent	Chemical	C5H12O	1-pentanol, C5H12O	kg	4.52	
Reagent	Chemical	C6H14	Hexane, C6H14	kg	0.62	50%
Reagent	Chemical	C6H14O4	Triethylene glycol, C6H14O4	kg	3.09	
Reagent	Chemical	C6H4Cl2	o-dichlorobenzene, C6H4Cl2	kg	12.20	
Reagent	Chemical	C6H4Cl2	p-dichlorobenzene, C6H4Cl2	kg	12.20	
Reagent	Chemical	C6H5Cl	Monochlorobenzene, C6H5Cl	kg	12.20	
Reagent	Chemical	C6H5OH	Phenol, C6H5OH	kg	3.87	
Reagent	Chemical	C6H6	Benzene, C6H6	kg	1.76	
Reagent	Chemical	C7H16	Heptane, C7H16	kg	0.92	
Reagent	Chemical	C7H8 (C6H5CH3)	Toluene, C7H8 (C6H5CH3)	kg	1.47	
Reagent	Chemical	CaC2	Calcium carbide, technical grade, CaC2	kg	3.68	
Reagent	Chemical	CaCl2	Calcium chloride, CaCl2, CaCl2	kg	0.89	
Reagent	Chemical	CH2O2	Formic acid, CH2O2	kg	2.51	
Reagent	Chemical	CH3OH	Methyl alcohol, CH3OH	kg	0.66	50%

Reagent	Chemical	CHCl3	Trichloromethane, CHCl3	kg	4.13	
Reagent	Chemical	Cl	Chlorine, liquid, Cl	kg	1.08	
Reagent	Chemical	ClO2	Chlorine dioxide, ClO2	kg	6.33	
Reagent	Chemical	CO	Carbon monoxide, CO	kg	1.57	
Reagent	Chemical	CO2	Carbon dioxide liquid, CO2	kg	0.82	
Reagent	Chemical	Cu2O	Copper oxide, Cu2O	kg	2.07	
Reagent	Chemical	CuCO3	Copper carbonate, CuCO3	kg	2.00	
Reagent	Chemical	F	Fluorine, liquid, F	kg	11.40	
Reagent	Chemical	FeCl3	Iron (II) chloride, 40% in H2O, FeCl3	kg	0.18	
Reagent	Chemical	H	Hydrogen, liquid, H	kg	1.63	
Reagent	Chemical	H2O2	Hydrogen peroxide, 50% in H2O, H2O2	kg	1.14	
Reagent	Chemical	H2SiF6	Fluosilic acid, 22% in H2O, H2SiF6	kg	0.97	
Reagent	Chemical	H2SO4	Sulphuric acid, H2SO4	kg	0.14	50%
Reagent	Chemical	H3BO3	Boric acid, anhydrous, powder, H3BO3	kg	0.72	
Reagent	Chemical	H3PO4	Phosphoric acid, industrial grade, 85% in H2O, H3PO4	kg	1.45	50%
Reagent	Chemical	HCl	Hydrochloric acid, 30% in H2O, HCl	kg	1.20	50%
Reagent	Chemical	HCl	Hydrochloric acid, HCl	kg	0.89	
Reagent	Chemical	HCN	Hydrogen cyanide, HCN	kg	7.06	
Reagent	Chemical	HF	Hydrogen fluoride, HF	kg	2.82	
Reagent	Chemical	HNO3	Nitric acid production - Atmospheric pressure plants (low pressure), HNO3	kg	1.55	
Reagent	Chemical	HNO3	Nitric acid production - High pressure plant, HNO3	kg	2.79	
Reagent	Chemical	HNO3	Nitric acid production - Medium pressure combustion plant, HNO3	kg	2.17	
Reagent	Chemical	HNO3	Nitric acid, 50 % in H2O, HNO3	kg	3.18	
Reagent	Chemical	Inorganic	Carbon black	kg	2.38	
Reagent	Chemical	Inorganic	Silicone product	kg	2.67	
Reagent	Chemical	K2CO3	Potassium carbonate, K2CO3	kg	2.38	
Reagent	Chemical	K2O	Potassium carbonate, by ton of K2O	kg	0.69	30%
Reagent	Chemical	KClO4	Potassium perchlorate, KClO4	kg	5.09	
Reagent	Chemical	KOH	Potassium hydroxide, KOH	kg	1.94	
Reagent	Chemical	MgO	Magnesium oxide, MgO	kg	1.06	
Reagent	Chemical	MgSO4	Magnesium sulphate, MgSO4	kg	0.30	
Reagent	Chemical	N	Nitrogen, liquid	kg	0.43	
Reagent	Chemical	Na2B4O7·10H2O	Borax, anhydrous, powder	kg	1.65	
Reagent	Chemical	Na2CO3	Sodium carbonate (caustic soda), 50%, Na2CO3	kg	0.59	50%
Reagent	Chemical	Na2SiO3	Sodium silicate at 48%, Na2SiO3	kg	0.71	0%
Reagent	Chemical	Na2SiO3	Sodium silicate, spray powder 80%, Na2SiO3	kg	1.64	
Reagent	Chemical	Na2SO4	Sodium sulphate, powder, Na2SiO3	kg	0.47	
Reagent	Chemical	NaCl	Sodium chloride, powder, NaCl	kg	0.20	
Reagent	Chemical	NaClO	Sodium hypochlorite, 15% in H2O, NaClO	kg	0.92	
Reagent	Chemical	NaClO3	Sodium chlorate, powder, NaClO3	kg	3.23	
Reagent	Chemical	NaHCO3	Bicarbonate of soda, NaHCO3	kg	1.17	0%
Reagent	Chemical	NaHSO3	Sodium bisulfite, NaHSO3	kg	0.44	0%
Reagent	Chemical	NaOH	Soda, powder, NaOH	kg	0.46	
Reagent	Chemical	NaOH	Sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, NaOH	kg	1.12	
Reagent	Chemical	NH3	Ammonia, liquid, NH3	kg	2.11	
Reagent	Chemical	NH4Cl	Ammonium chloride, NH4Cl	kg	1.18	
Reagent	Chemical	NH4HCO3	Ammonium bicarbonate, NH4HCO3	kg	1.20	
Reagent	Chemical	NH4NO3	Ammonium nitrate (NH4NO3), by ton of nitrogen	kg	4.09	30%
Reagent	Chemical	O2	Oxygen, liquid	kg	0.41	
Reagent	Chemical	O3	Ozone, liquid	kg	8.01	
Reagent	Chemical	Organic	Lubricating oil	kg	1.07	
Reagent	Chemical	Organic	Palm oil	kg	2.93	
Reagent	Chemical	Organic	Soya oil	kg	1.70	
Reagent	Chemical	Other	Other chemical	kg	3.00	50%
Reagent	Chemical	Other	Soap	kg	1.75	
Reagent	Chemical	PCl3	Phosphorous chloride, PCl3	kg	3.39	
Reagent	Chemical	SF6	Sulphur hexafluoride, liquid, SF6	kg	120.00	
Reagent	Chemical	SO2	Sulphur dioxide, liquid, SO2	kg	0.44	
Reagent	Chemical	Solvent	White spirit	kg	0.95	
Reagent	Chemical	ZnO	Zinc oxide, ZnO	kg	2.91	
Reagent	Chemical	ZnS	Zinc sulphide, ZnS	kg	4.18	
Reagent	Chemical	ZrO2	Zirconium oxide, ZrO2	kg	4.05	
Reagent	Other	Activated carbon	AC coconut prod.	kg	1.43	
Reagent	Other	Activated carbon	AC coconut reac.	kg	0.65	
Reagent	Other	Activated carbon	AC mineral prod.	kg	5.27	
Reagent	Other	Activated carbon	AC mineral reac.	kg	2.46	
Reagent	Other	Activated carbon	AC mineral renew.	kg	8.38	
Reagent	Other	Activated carbon	AC wood prod.	kg	2.61	
Reagent	Other	Biocide	Biocide	kg	3.73	0%
Reagent	Other	CaCO3	Lime stone	kg	0.01	0%
Reagent	Other	CaO	Lime CaO	kg	0.15	50%
Reagent	Other	Fertilizer	Nitrogen	kg	4.62	30%
Reagent	Other	Fertilizer	Phosphorous	kg	2.70	0%
Reagent	Other	Other	Membrane cleaning	kg	3.99	0%
Reagent	Other	Polymer	Polymer	kg	2.20	0%
Reagent	Other	Resin	Resin prod. & activ. (kg)	kg	3.67	
Reagent	Other	Resin	Resin prod. & activ. (m3)	m3	3,116.67	

Reagent	Other	Resin	Resin regener. (kg)	kg	0.53	
Reagent	Other	Resin	Resin regener. (m3)	m3	447.33	
Reagent	Other	Sand	Microsand	kg	0.11	
Reagent	Other	TSP	STP	kg	5.81	0%
Transport	Freight	Air	AF ave. (km)	km	2.10	20%
Transport	Freight	Air	AF long (km)	km	1.20	20%
Transport	Freight	Air	AF long (Lkm)	Lkm	0.57	
Transport	Freight	Air	AF short (km)	km	3.36	20%
Transport	Freight	Air	AF short (Lkm)	Lkm	1.58	
Transport	Freight	Air	Air freight average (km)	km	2.22	20%
Transport	Freight	Air	Air freight average (Lkm)	Lkm	1.30	0%
Transport	Freight	Rail	Rail freight	Lkm	0.03	
Transport	Freight	Rail	Train EU	Lkm	0.02	50%
Transport	Freight	Road	RF bulk large	Lkm	0.01	
Transport	Freight	Road	RF bulk small	Lkm	0.01	
Transport	Freight	Road	RF roro large	Lkm	0.02	
Transport	Freight	Road	RF roro small	Lkm	0.06	
Transport	Freight	Road	RF tanker large	Lkm	0.00	
Transport	Freight	Road	RF tanker small	Lkm	0.04	
Transport	Freight	Road	RF truck 20t 1/2full	Lkm	0.82	9%
Transport	Freight	Road	RF truck 20t 1/4full	Lkm	1.52	9%
Transport	Freight	Road	RF truck 20t 3/4full	Lkm	0.59	9%
Transport	Freight	Road	RF truck 20t full	Lkm	0.47	9%
Transport	Freight	Road	RF truck 35t 1/2full	Lkm	0.44	11%
Transport	Freight	Road	RF truck 35t 1/4full	Lkm	0.81	11%
Transport	Freight	Road	RF truck 35t 3/4full	Lkm	0.31	11%
Transport	Freight	Road	RF truck 35t full	Lkm	0.25	11%
Transport	Freight	Road	Road freight average (km)	km	1.11	11%
Transport	Freight	Road	Road freight average (Lkm)	Lkm	0.70	11%
Transport	Freight	Water	SF transoceanic	Lkm	0.01	
Transport	Freight	Water	Ship freight	Lkm	0.01	20%
Transport	Trip	Air	Air trip average	km	0.49	20%
Transport	Trip	Air	AT long	km	0.19	20%
Transport	Trip	Air	AT long 1st	km	0.78	20%
Transport	Trip	Air	AT long 2nd	km	0.16	20%
Transport	Trip	Air	AT long bus.	km	0.81	20%
Transport	Trip	Air	AT short	km	0.24	20%
Transport	Trip	Air	AT short 2nd	km	0.19	20%
Transport	Trip	Air	AT short bus.	km	0.80	20%
Transport	Trip	Rail	Train trip	km	0.06	
Transport	Trip	Road	Road trip	km	0.21	
Transport	Trip	Road	Road trip average	km	0.19	20%
Transport	Trip	Road	RT diesel large	km	0.26	
Transport	Trip	Road	RT diesel medium	km	0.19	
Transport	Trip	Road	RT diesel small	km	0.15	
Transport	Trip	Road	RT hybrid large	km	0.22	
Transport	Trip	Road	RT hybrid medium	km	0.13	
Transport	Trip	Road	RT petrol large	km	0.30	
Transport	Trip	Road	RT petrol medium	km	0.22	
Transport	Trip	Road	RT petrol small	km	0.18	