# PRIORIZACIÓN DE OPORTUNIDADES DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA ORIENTADAS A LA RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DE LOS CHIRCALES DEL SECTOR EL PLAN, VEREDA PATIO BONITO DEL MUNICIPIO DE NEMOCÓN – CUNDINAMARCA

**Jose Sebastián Galán Sayo**

**Cristian Danilo García Franco**

**UNIVERSIDAD EL BOSQUE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**BOGOTÁ**

**2018**

# PRIORIZACIÓN DE OPORTUNIDADES DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA ORIENTADAS A LA RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DE LOS CHIRCALES DEL SECTOR EL PLAN, VEREDA PATIO BONITO DEL MUNICIPIO DE NEMOCÓN – CUNDINAMARCA

**Jose Sebastián Galán Sayo**

**Cristian Danilo García Franco**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de

**Ingeniero Ambiental**

**Director**

Jhon Fredy Arias Duque

**Línea de Investigación**

Gestión Ambiental

**Área de Investigación**

Gestión y Productividad Sustentable

**UNIVERSIDAD EL BOSQUE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**BOGOTÁ**

**2018**

**Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional**

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

***Dedicatoria***

*Jose Sebastián Galán Sayo:*

*A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional y enseñanzas a lo largo de mi vida, a Dios por darme la fortaleza necesaria para afrontar todos los retos que la vida me propone, a Juan Sebastián Castellanos Bello mi gran amigo y compañero en la universidad quien partió pero que siempre estará en nuestros corazones.*

*Cristian Danilo Garcia Franco:*

*A mis padres por ser el pilar esencial en mi formación tanto académica como personal, siendo ejemplos de trabajo y perseverancia y por brindarme su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, a mi hija por todo su amor y ser el motor para luchar día a día por cada una de las metas que me propongo, y a mi amigo Juan Sebastián Castellanos Bello por todos sus años de amistad y sus enseñanzas, quien partió con prontitud de este mundo pero siempre vivirá en nuestro corazón.*

**Agradecimientos**

**A nuestro director John Fredy Arias Duque por todo su apoyo, sus enseñanzas y su siempre buena disposición para orientarnos en el desarrollo de este trabajo de grado, a cada uno de los docentes que fueron la guía para culminar este proceso académico, al ingeniero Carlos Bello de la Corporación Autónoma de Cundinamarca, quien nos brindó todo su apoyo por medio de su conocimiento y de un equipo interdisciplinario los cuales fueron de gran ayuda para esta investigación**

**Gracias.**

# Contenido

**pág.**

Resumen 1

Abstract 2

Introducción 3

1. Planteamiento del Problema 4

2. Pregunta de Investigación 6

3. Justificación 7

4. Objetivos 8

4.1 Objetivo general 8

4.2 Objetivos Específicos 8

5. Marcos de Referencia 9

5.1 Estado del Arte 9

5.1.1 Internacional 9

5.1.1.1 Estudio de análisis del ciclo de vida de ladrillos y bloques de concreto 9

5.1.1.2 Energy efficiency and emissions of artisanal brick kilns in Peru 10

51.1.3 Brick kilns performance assessment & a roadmap for cleaner brick production in India. 10

5.1.2 Nacional 11

5.1.2.1 Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia 11

5.1.2.2 Oportunidades para reducir las emisiones contaminantes SLCPs en el subsector de producción de ladrillos en Colombia 12

5.1.2.3 Inventario de emisiones atmosféricas área Metropolitana del Valle de Aburra 13

5.1.3 Regional 14

5.1.3.1 Análisis de las emisiones de contaminantes asociados a la fabricación de ladrillos y propuesta de reconversión tecnológica Nemocón – Colombia. 14

5.1.3.2 Reconversión tecnológica en el sector productivo artesanal de hornos de ladrillo y cal para reducir la contaminación atmosférica en el valle de Sogamoso (Boyacá, Colombia) 15

5.2 Marco Teórico 16

5.2.1 Política nacional de producción y consumo sostenible 16

5.2.2 Producción Más Limpia – PML. 17

5.2.3 Gestión ambiental empresarial. 18

5.2.4 Eficiencia energética 18

5.3 Marco Conceptual 19

5.3.1 Oportunidades de producción más limpia. 19

5.3.2 Reconversión Tecnológica 19

5.3.3 Chircal. 20

5.3.4 Ladrillo. 20

5.3.5 Proceso de elaboración del ladrillo. 20

5.3.6 Factores de emisión 22

5.3.7 Emisiones 23

5.3.8 Contaminantes 23

5.3.9 Fuente de Emisión. 24

5.3.10 Fuente Fija. 24

5.3.11 Fuente Fija Dispersa o Difusa 24

5.3.12 Inventario de Emisiones 24

5.3.13 Balance de Materia 24

5.4 Marco Geográfico 25

5.4.1 Ubicación. 25

5.4.2 Geografía. 27

5.4.3 Usos de Ecosistemas 27

5.4.4 Cuencas hidrográficas 28

5.4.5 Economía 28

5.5 Marco legal y normativo 29

5.5.1 Normatividad Internacional 29

Nota: Elaborada por los Autores 31

5.5.2 Normatividad Nacional 31

6. Marco Metodológico 37

6.1 Enfoque y alcance 37

6.2 Método 38

6.3 Unidad de Análisis 38

6.4 Informantes, número y calidad 39

6.5 Variables y Aspectos 39

6.6 Actividades, técnicas e instrumentos 40

6.7 Fases de la Investigación 41

7. Plan de Trabajo 44

8. Resultados, Análisis y Discusión 45

8.1 Diagnóstico y caracterización de las industrias de producción de ladrillos por métodos artesanales en el sector El Plan, vereda Patio Bonito del municipio de Nemocón – Cundinamarca. 45

8.1.1 Encuesta realizada a los empresarios del sector el plan en el municipio de Nemocón – Cundinamarca dedicados a la producción de ladrillo 45

8.1.2 Cuantificación de las emisiones de gases contaminantes (Pm, SO2, NOx) producidas por las ladrillas ubicadas en el Sector el Plan. 62

8.2 Identificar las oportunidades de producción más limpia para las industrias de fabricación de ladrillos por métodos artesanales en el sector El Plan. 69

8.2.1 Análisis de Procesos y Operaciones 69

8.2.2 Relación Causas – Efectos del Problema 71

8.2.3 Análisis DOFA del Subsector Ladrillero en el Municipio de Nemocón. 72

8.2.4 Análisis de balance de materias en el proceso de cocción del ladrillo 74

8.2.5 Identificación de oportunidades de producción más limpia 82

8.2.5.1 Buenas prácticas operativas. 83

8.2.6 Análisis de las Oportunidades de PML 88

8.3 Diseño de los proyectos con las oportunidades de producción más limpia para la industria de elaboración de ladrillos. 89

8.3.1 Análisis Ecológico 91

8.3.1.1 Reducción de emisiones 92

8.3.1.2 Reducción de residuos sólidos 93

8.3.2 Análisis Socioeconómico 94

8.3.2.1 Costos de ineficiencia 94

8.3.2.2 Retorno de la Inversión 104

9. Conclusiones 108

10. Recomendaciones 110

Referencias Bibliográficas 111

# Lista de Figuras

**pág.**

Figura 1. Etapas de un Proyecto en PML 18
Figura 2. Proceso 20
Figura 3. Mapa de localización geográfica del municipio de Nemocón en el contexto Nacional y Departamental 26
Figura 4. Localización Geográfica de la vereda Patio Bonito dentro el municipio de Nemocón. 27
Figura 5. Enfoque 37
Figura 6. Fases de la Investigación 41
Figura 7. Rango de Antigüedad de la empresa 47
Figura 8. Nivel de escolaridad de las personas encuestadas 47
Figura 9. Valor porcentual de los trabajadores directos según género 48
Figura 10. Promedio del tiempo gastado por actividad del proceso productivo 49
Figura 11.Proceso. 50
Figura 12. Número y tipos de hornos de las nueve microempresas evaluadas para el sector el Plan 51
Figura 13. Número y Antigüedad de los hornos 52
Figura 14. Problemáticas Identificadas en el proceso productivo 54
Figura 15. Porcentaje del tipo de mantenimiento que se le realizan a los hornos 54
Figura 16. Cantidad porcentual de hornos fuera de servicio 55
Figura 17. Empresarios Interesados en una reconversión Tecnológica para las ladrilleras 56
Figura 18. Porcentaje de empresarios Interesados en algún tipo de reconversión tecnológica para las ladrilleras 56
Figura 19. Empresas que han tenido algún requerimiento por parte de las Autoridades Ambientales 60
Figura 20. Empresas que cuentan con algún tipo de sistema de control de emisiones 61
Figura 21. Ecomapa del Proceso de Elaboración de Ladrillo en el sector El Plan 70
Figura 22. Árbol de problemas 71
Figura 23. Ecobalance del Proceso Artesanal de Cocción de Ladrillo 82

## Lista de Tablas

**pág.**

Tabla 1. Datos generales de la ubicación del municipio de Nemocón Cundinamarca 25
Tabla 2. Normatividad internacional referente a temas del recurso aire y desarrollo sostenible 29
Tabla 3. Normatividad Nacional 31
Tabla 4. 40
Tabla 5. Generalidades del grupo de encuestados 45
Tabla 6. Número de Trabajadores 48
Tabla 7. Características generales de los hornos 52
Tabla 8. Información del proceso de horneado anual 53
Tabla 9. Información del proceso de horneado (promedio) 53
Tabla 10. Características del mantenimiento 55
Tabla 11. Características del horno para reconversión tecnológica 56
Tabla 12. Características del combustible usado para la cocción 58
Tabla 13. Disposición final por residuo 58
Tabla 14. Requerimientos ambientales para los microempresarios del sector el plan 59
Tabla 15. Factores 62
Tabla 16. Factor de Emisión Pm10 65
Tabla 17. Factor de Emisión NOx 66
Tabla 18. Factor de Emisión SO2 67
Tabla 19. Matriz DOFA 73
Tabla 20. Materia prima para ladrillo con un volumen de 2208 $cm^3$ 75
Tabla 21. Materia prima para el proceso de cocción 75
Tabla 22. Análisis último 75
Tabla 23. Cantidad de aire 77
Tabla 24. Exceso de aire 78
Tabla 25. Datos promedio del consumo de combustible y las emisiones producidas. 78
Tabla 26. Datos de consumo de combustible y emisiones por pieza de ladrillo 79
Tabla 27. Cantidad de residuos solidos 79

Tabla 28. Entradas y salidas 79
Tabla 29. Eficiencia del proceso 81
Tabla 30. Matriz de diagnostico de alternativas 88
Tabla 31. Emisiones 92
Tabla 32. Hornos semicontinuos 93
Tabla 33. Costos 94
Tabla 34. Valores económicos para el combustible 94
Tabla 35. Valor anual 95
Tabla 36. Total, costos anuales 95
Tabla 37. Costos de venta unidad de ladrillo 95
Tabla 38. Costo de Venta de Unidades Producidas 96
Tabla 39. Total ingresos 96
Tabla 40. Ganancia 96
Tabla 41. Capacidad de producción 97
Tabla 42. Promedio costos 97
Tabla 43. Proyección 97
Tabla 44. Total costos 98
Tabla 45. Ingresos 98
Tabla 46. Costo total de venta de las unidades 99
Tabla 47. Ganancia 99
Tabla 48. Costos 99
Tabla 49. Proyección de costos 99
Tabla 50. Costos anuales 100
Tabla 51. Total costos 100
Tabla 52. Costo por quema 100
Tabla 53. Costo por unidades 101
Tabla 54. Total Ingresos 101
Tabla 55. Ganancia 101
Tabla 56. Costos 102
Tabla 57. Costos 102
Tabla 58. 102

Tabla 59. Total egresos 103
Tabla 60. Valores unitarios 103
Tabla 61. Ganancias para las nueve microempresas 104
Tabla 62. Ganancias / Microempresas 104
Tabla 63. Proyección Horno tipo túnel 105
Tabla 64. Proyección Horno Tipo Zigzag 105
Tabla 65. Flujos de caja horno tipo túnel 105
Tabla 66. Flujo de caja 106
Tabla 67. Periodo de payback 106

## Resumen

El presente trabajo de investigación sobre, la priorización de alternativas de producción más limpia orientadas a la reconversión tecnológica de los chircales del Sector El plan Vereda patio bonito del municipio de Nemocón – Cundinamarca se desarrolló bajo una metodología inductiva que tuvo por objeto determinar cuáles son las propuestas con mayor viabilidad para su implementación dentro del área de estudio.

Con esa finalidad el proyecto se desarrolló empezando por una fase de diagnóstico que permitió identificar el estado actual a nivel ecológico, económico y social de las nueve ladrilleras del sector, donde posterior a esto se determinaron las oportunidades de producción más limpia (PML) y las deficiencias que se encuentran en el proceso productivo reflejadas con una eficiencia del 56%, la cual es baja si se compara con las eficiencias de las tecnologías actuales.

Por último, se definieron las propuestas de reconversión tecnológica para el sector el Plan, las cuales se centraron en el planteamiento de un horno tipo túnel como solución grupal y otro tipo zigzag como solución individual. A partir del análisis y comparación de los resultados obtenidos en cuanto a eficiencia energética, generación de emisiones, tiempo de retorno de la inversión y costos de implementación se concluyó que la propuesta de mayor viabilidad es la solución individual ideal.

## Abstract

The present work of investigation about the prioritization of the alternatives of clean production oriented to the technical reconversion of the chircales from the sector plan, Patio Bonito vereda of the municipality of Nemocon - Cundinamarca was developed below an inductive methodology with the objective of determined the most applicable proposal for the implementation within the study area.

For this purpose, the project was developed a diagnostic phase that will identify the current status at ecological, economic and social level of the nine brickyards of the sector, which will later determine the opportunities for cleaner production (PML) and the deficiencies that they are in the process reflected product with an efficiency of 56%, which is low when compared with the efficiencies of current technologies.

Finally, the proposals for technological reconversion for the sector The plan were defined, focus on the approach of a furnace. From the analysis and comparison of the results in energy efficiency, emission generation, return time of investment and implementation costs, it is concluded that the proposal of greater viability is the ideal individual solution.

## Introducción

En el último tiempo debido al abrupto crecimiento poblacional y las variaciones en las formas o estilos de vida de las personas, se ha generado una explotación acelerada de los recursos naturales principalmente por actividades industriales como la elaboración de ladrillo por métodos artesanales, la cual ha causado diversos impactos ambientales negativos de los que se derivan afectaciones tanto en el aspecto social como en el económico.

Teniendo en cuenta el contexto económico y productivo en el que se encuentra la actividad ladrillera en el municipio de Nemocón es posible inferir que esta puede ser catalogada como la actividad predominante de la región y por ende la que mayor cantidad de problemas a nivel ecológico, social y económico ha presentado, principalmente debido al desarrollo de un proceso productivo en el que se emplean hornos artesanales que tienen una poca o nula tecnificación presentado una eficiencia bastante baja en lo que respecta al aprovechamiento del combustible (carbón) y a la tasa de producción de ladrillos de buena calidad (Arango & Rodríguez, 2017)

Con base en lo anterior, ha surgido la preocupación por parte de las entidades públicas y privadas por buscar alternativas que permitan solucionar las dificultades que ha traído consigo el desarrollo de la actividad en esta región del país. Por tal razón, surge la posibilidad de aplicar estrategias de producción más limpia a través de buenas prácticas empresariales y de procesos de reconversión tecnológica que no solo mitiguen el impacto ambiental producido dentro del sector ladrillero sino que genere valor dentro de las empresas con una producción mayor y de mejor calidad lo cual traería consigo una mejor calidad de vida para la población que se dedica a esta actividad.

Todos estos aspectos negativos se vieron reflejados dentro del desarrollo de este proyecto en el sector El Plan del municipio de Nemocón, del que hacen parte nueve microempresarios dedicados a la producción de ladrillo por métodos artesanales, actividad arraigada a su tradición familiar y de la cual depende económicamente. Sin embargo, en la última década se han visto afectados por la presencia dentro del mercado de empresas con mejores capacidades productivas, gracias al acceso a tecnologías más limpias y eficientes; además de esto la rigurosidad de la normatividad ambiental les ha impuesto obligaciones a las que los industriales no pueden dar cumplimiento, principalmente por la cantidad de emisiones de gases contaminantes y las pocas medidas de mitigación empleadas para la reducción de los impactos ambientales.

## 1. Planteamiento del Problema

En el mundo, el sector de la construcción es catalogada como una de las industrias menos sostenibles debido a el consumo de recursos no renovables que esta requiere, pues se estima que la construcción de edificaciones y/o viviendas utiliza alrededor del 60% de los materiales que se extraen del planeta (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012)

Asimismo, el impacto ambiental de este sector es responsable del 30% de las emisiones de carbono generadas en el mundo, emisiones de otros gases contaminantes y material particulado. Donde, según las conclusiones del Worldwatch Institute de Washington, "[...] prácticamente la mitad de las emisiones de dióxido de carbono que hay en la atmósfera son producidas directamente por la construcción" (Worldwatch Institute, 2016,p.2), las cuales no solo contribuyen al calentamiento del planeta si no que traen consigo graves problemas de salud pública (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012)

En Colombia, la industria ladrillera en el proceso de extracción y transformación de arcilla, hace parte de una de las principales fuentes de contaminación por medio de la generación de residuos sólidos y emisiones de gases contaminantes. De acuerdo, con un estudio realizado por la Corporación Ambiental Empresarial (CAEM), filial de la Cámara de Comercio de Bogotá, para el año 2015 encontraron que en el territorio nacional existen aproximadamente 1343 ladrilleras en 14 departamentos, las cuales aportan a esta industria 835.280 toneladas al mes de material cerámico. Sin embargo, se observó que en Colombia el 77% de las ladrilleras son artesanales, es decir que los hornos utilizados dentro del proceso de cocción del ladrillo son chircales con hornos de fuego dormido, los cuales usan tecnologías obsoletas y son poco eficientes en el uso de combustibles (CCB, 2015)

En el municipio de Nemocón, departamento de Cundinamarca se presenta una gran problemática tanto ambiental como de salud pública a causa de las emisiones atmosféricas que la fabricación de ladrillos por métodos artesanales genera. No obstante, esta industria es la actividad económica predominante del municipio, ejecutada como medio de ingreso para los pobladores, ya que otras actividades productivas como es el caso de la agricultura no pueden ser desarrolladas puesto que las características agroecológicas de los suelos no lo permiten, además de la tradición familiar arraigada a sus costumbres por hace más de 40 años (Arango & Rodríguez, 2017).

A partir de esto, es posible establecer la propuesta para el diseño de reconversión tecnológica de los hornos de fuego dormido, por medio de la búsqueda de tecnologías más limpias, que permita a los industriales un cumplimiento tanto normativo como el mejoramiento de las condiciones ambientales y laborales, reduciendo los impactos generados en la salud pública y que contribuyen a la contaminación atmosférica del país.

## 2. Pregunta de Investigación

¿Qué tipo de tecnologías pueden ser aplicadas por los ladrilleros artesanales del sector el Plan, vereda Patio Bonito, municipio de Nemocón para reducir sus impactos ambientales y obtener un beneficio económico?

## 3. Justificación

Teniendo en cuenta la urgencia que ha surgido a nivel global de proporcionar alternativas que ayuden a mitigar los efectos negativos que se originan a nivel ecológico, social y económico, debido al cambio climático y la contaminación atmosférica. El proyecto plantea el uso de diferentes herramientas que nos permitirán determinar los diferentes impactos ambientales que se producen en las etapas de producción de ladrillos a través de la identificación de áreas críticas, cuantificación de emisiones y consumos energéticos, con el fin de diseñar una serie de estrategias orientadas a la reconversión tecnológica para el sector el Plan, el cual está conformado por un conjunto de 9 microempresas ubicadas en el municipio de Nemocón.

Asimismo, considerando que la ubicación en la que se encuentra el área de influencia directa del proyecto hace que se caracterice como uno de los corredores industriales más importantes del país en materia de producción de ladrillo, a razón de que el 26% de la producción ladrillera de Colombia se concentra en el departamento de Cundinamarca, constituyéndose de esta forma en una problemática ecológica, económica y social para la dimensión regional, ya que también es uno de los departamentos con mayor presencia de hornos artesanales y tecnificados para la elaboración de ladrillo, con un representación en cantidad aproximada de 450 hornos, lo cual afecta significativamente la calidad del aire debido a la alta producción de gases contaminantes como PM10, $SO_2$ y NOx dado a las limitaciones financieras y técnicas que se presentan en el proceso productivo para la elaboración de ladrillo (Corporación Ambiental Empresarial , 2015)

A partir de lo anterior, surge la necesidad de implementar ejercicios académicos como este, el cual está fundado en cómo las oportunidades de producción más limpia que se presentan en el sector ladrillero pueden generar un aporte de conocimientos para la formulación de alternativas, que no solo se enfoquen en la reducción de la problemática ambiental causada por parte de las ladrilleras artesanales presentes en el municipio de Nemocón sino que permitan una mejora de los procesos productivos, dando lugar a mejores condiciones en el mercado a través del nivel de competitividad que puedan adquirir las unidades empresariales a analizar, convirtiéndose de esta manera en una posibilidad viable y oportuna en cuanto a su aplicación, lo que propiciará una disminución de impactos ambientales negativos y mejores oportunidades y condiciones socio-económicas.

# 4. Objetivos

## 4.1 Objetivo general

Priorizar oportunidades de producción más limpia orientadas a la reconversión tecnológica de los chircales del sector El Plan, vereda Patio Bonito del municipio de Nemocón – Cundinamarca.

## 4.2 Objetivos Específicos

- Realizar el diagnóstico y caracterización de las industrias de producción de ladrillos por métodos artesanales en el sector El Plan, vereda Patio Bonito del municipio de Nemocón – Cundinamarca
- Identificar las oportunidades de producción más limpia para las industrias de fabricación de ladrillos por métodos artesanales en el sector El Plan.
- Diseñar las propuestas con las oportunidades de producción más limpia para la industria de elaboración de ladrillos.

# 5. Marcos de Referencia

## 5.1 Estado del Arte

La construcción del estado del arte se realizó a través de la extensa revisión de diferentes documentos (Tesis, informes, artículos y repositorios de universidades nacionales e internacionales) con el fin de establecer una línea base que permitió analizar las metodologías que se han venido aplicando en lo que respecta a la identificación de estrategias de buenas prácticas y reconversión tecnológica en procesos para la elaboración de ladrillos.

Además de esto se tuvieron en cuenta procesos realizados por organizaciones a nivel nacional e internacional en la industria ladrillera, los cuales aportaron datos fundamentales para la investigación en temas como las cantidades de gases contaminantes emitidas por los chircales y como se puede emplear un proceso de aplicación de nuevas tecnologías para la optimización de todo el proceso productivo.

### 5.1.1 Internacional

***5.1.1.1 Estudio de análisis del ciclo de vida de ladrillos y bloques de concreto***. Este estudio desarrolla del Análisis de Ciclo de Vida comparativo de los ladrillos artesanales y mecanizados, producidos en el distrito de San Jerónimo, departamento de Cusco. El Análisis del Ciclo de Vida (ACV), denominado en inglés *Life Cycle Analysis* (LCA), es una herramienta que cuantifica el impacto ambiental de un producto, tomando en cuenta las etapas desde la obtención de materia prima, producción, distribución, uso hasta su disposición final. Esto con el objeto de cuantificar y evaluar los impactos ambientales generados a lo largo de la fabricación de ladrillos artesanales comparados con los que usan métodos mecanizados a través de inventarios de emisiones que serán un apoyo fundamental para la toma de decisiones tanto de productores como entes gubernamentales.

Teniendo en cuenta la aplicación de esta metodología se establecieron unos parámetros específicos para la producción de ladrillo por medio de un inventario que permite identificar la producción anual y el número de quemas que se requería para obtener el producto final y los impactos generados en las diferentes fases del proceso de fabricación de ladrillo.

Como conclusiones sobresalientes se tiene que, desde la obtención de los materiales hasta la construcción de un metro cuadrado de pared, se tiene que 1 m2 de pared construido con ladrillos

artesanales impacta al ambiente en un 26% más que 1 m2 de pared construido con ladrillos mecanizados, debido a que, la cantidad de ladrillos artesanales que se requiere para construir 1 m2 es 3.3 veces más que la cantidad de ladrillos se requiere para construir 1 m2 de ladrillos mecanizados. Razón por la cual es de suma importancia que se evalúen alternativas de hornos que presenten una mayor eficiencia energética y reduzcan la producción de emisiones contaminantes al ambiente (Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012)

***5.1.1.2 Energy efficiency and emissions of artisanal brick kilns in Peru***. Este artículo desarrollado por medio de la universidad de ciencias aplicadas y artes noroeste escuela suiza de ingeniería se plantea que la contaminación atmosférica generada por la por los hornos para la elaboración de ladrillo es un problema central para los países que se encuentran en vía de desarrollo, esto a raíz del alto consumo energético que se requiere en este ciclo productivo.

Siendo así dicha universidad junto con la iniciativa a nivel latinoamericano que estableció la red de ladrilleras con su proyecto de Eficiencia Energética en Ladrilleras (EELA) elaboró este estudio con el objeto de realizar una recolección de datos e investigación de 3 diferentes tipos de hornos (hornos con ventilador, hornos sin ventilador y hornos tipo colmena) lo cual también permite evaluar la eficiencia energética calculada a través del análisis de la relación entre el consumo energético y la temperatura alcanzada por cada uno de los hornos.

Como conclusiones sobresalientes fue determinado que el horno sin ventilador fue el que mayor cantidad de emisiones de monóxido de Carbono (CO) generó por lo que es necesario su uso si se quieren lograr mejoras a nivel ecológico. Asimismo, cabe resaltar como un factor significativo de la investigación realizada a los hornos es la cantidad de agua y falta de oxígeno que se presenta en el secado de los ladrillos, sin embargo, también plasman la mayor limitación para el desarrollo del estudio, fue el no poder determinar cómo el uso de un ventilador puede afectar tanto la eficiencia como el calor generado en los hornos (Fuchs, 2016).

***51.1.3 Brick kilns performance assessment & a roadmap for cleaner brick production in India.*** En relación a este estudio que tiene por nombre la "Evaluación de rendimiento de hornos ladrilleros y una hoja de ruta para la producción más limpia de ladrillos en la India", para el que se define a India como el segundo mayor productor de ladrillo con más del 10% de la producción mundial a raíz de la presencia de 100.000 hornos para la fabricación del mismo, generando cerca de 10 millones de trabajos y consumiendo aproximadamente 25 millones de toneladas de carbón anualmente, lo cual ocasiona una alta producción de emisiones de contaminantes atmosféricos,

principalmente debido a que se hace uso de tecnologías tradicionales con limitaciones gerenciales, financieras y técnicas para la elaboración del ladrillo. Por consiguiente, se establece como un estudio que puede ser de gran aporte para esta investigación ya que confluyen varias similitudes entre los dos (Greentech Knowledge Solutions, 2012)

Por otra parte, en el estudio se hallan resultados sobresalientes a nivel energético, ambiental y económico, razón por la cual se definió lo siguiente:

**Rendimiento energético**: El horno con mayor eficiencia dentro del estudio fue el VSBK ya que este posee el más bajo requerimiento de energía, seguido por el horno de tipo Zig-Zag y el FCBTKs.

**Rendimiento económico:** La menor inversión para la construcción de un horno con características más limpias de producción pertenecen a los hornos Zig-Zag debido a que requiere de un periodo de retorno más corta. Asimismo, se resalta que a pesar de que el valor económico para la construcción de un horno tipo túnel es elevado (10-20 veces más que el Zig-Zag) se mantiene como una muy buena opción en el caso de requerir producción a gran escala.

**Rendimiento ambiental:** Ya en cuanto a la parte ecológica se definió que el horno VSBK tiene la más baja producción de emisiones de PM2.5 y que junto al horno tipo Túnel son los que menos cantidad de emisiones de carbón negro generan.

### 5.1.2 Nacional

***5.1.2.1 Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia***. Este estudio realizado por la universidad de los Andes con colaboración de *University College of London* se plasma un diagnóstico de la contaminación atmosférica actual en el país, en este se establece que esta es causada principalmente por el uso de combustibles fósiles, ya sea por fuentes de emisiones móviles, fijas o aéreas. El 41% del total de las emisiones se genera en las principales ciudades del país donde Bogotá lidera, seguida por Medellín y Cali. Las mayores emisiones de material particulado menor a 10 micras (PM10), de óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO) son ocasionadas por fuentes móviles (vehículos, motocicletas, trenes, aviones, etc.) que son los que utilizan fuentes fósiles de energía mientras que las partículas suspendidas totales (PST) y los óxidos de azufre (SOx) son generados por las fuentes fijas como establecimientos industriales y termoeléctricos, 2 1 principalmente. La participación de los distintos sectores en la contaminación del aire es: 86% en el transporte terrestre, 8% en la

industria, 3% termoeléctricas, 2% en los sectores residencial y comercial y 1% en el transporte aéreo.

La contaminación del aire es una de las mayores preocupaciones para los colombianos ya que es el mayor generador de costos sociales después de la contaminación del agua y de los desastres naturales. Estos costos han sido estimados en el 2004, como 1.5 billones de pesos anuales y están relacionados con efectos sobre la salud pública, mortalidad y morbilidad (Conpes 3344, 2005). El contaminante monitoreado de mayor interés, dado sus efectos nocivos sobre la salud humana es el material particulado (PM10 y PST), ya que con frecuencia las concentraciones de este contaminante superan los estándares ambientales de la regulación vigente. Por lo tanto, se ha identificado que el aporte más importante de emisión de contaminantes a la atmósfera proviene principalmente de las industrias y el rodamiento del parque automotor, para lo cual se han establecido algunas medidas.

En cuanto a las instituciones y regulación ambiental el Conpes 3344 (2005) identificó que la estructura institucional vigente resultaba adecuada para el desarrollo de una gestión descentralizada de prevención y control de la contaminación del aire, con las regulaciones y lineamientos de política definidos por el Gobierno Nacional. Sin embargo, dado que existen enormes diferencias entre las autoridades ambientales en cuanto a su capacidad institucional, el fortalecimiento de las más débiles sería condición necesaria para implementar con éxito políticas de calidad del aire. Por otro lado, se evidenció una discontinuidad vertical con la política establecida a nivel nacional, ya que las autoridades ambientales habían desarrollado instrumentos normativos y de política general construidos de manera aislada sin obedecer a los lineamientos de política entre las entidades del orden ambiental y sectorial (Universidad de los Andes & University College London, 2013)

***5.1.2.2 Oportunidades para reducir las emisiones contaminantes SLCPs en el subsector de producción de ladrillos en Colombia.*** Este proyecto realizado a través de un convenio específico de colaboración entre la universidad Autónoma Metropolitana de México y la Corporación Ambiental Empresarial - CAEM de Colombia. Tuvo como objeto desarrollar un perfil del sector ladrillero en Colombia, su contribución a las emisiones de SLCPs, identificar los proyectos existentes para mejorar la producción de ladrillo reduciendo emisiones contaminantes, e identificar las barreras y oportunidades para reducir dichas emisiones.

Además de esto el proyecto brinda información vital en cuanto a la infraestructura tecnológica básica para el proceso de producción de ladrillo en las industrias grandes, medianas y aun en algunas pequeñas empresas. Sin embargo, en el proceso de cocción u horneado aún se evidencian significativas ineficiencias teniendo en cuenta que se registra un inventario importante de hornos tipo, fuego dormido, pampa, árabes y colmena, los cuales son reconocidos por su baja eficiencia térmica y altas emisiones contaminantes.

Otra parte fundamental de lo expuesto en el documento es el planteamiento de diversas técnicas que permitirán mejorar la producción de ladrillo y/o reducir las emisiones producidas en el proceso productivo, basados en la reglamentación planteada por el gobierno nacional. Dichas técnicas apuntan a la operación más eficiente de los procesos de transformación de la arcilla derivados en el ladrillo, y ello hace que cada vez más los proyectos para la industria ladrillera tomen más fuerza y apunten a mejorar la calidad de su producto terminado ligado a la reducción de emisiones (CAEM & Universidad Autónoma Metropolitana de México, 2013)

***5.1.2.3 Inventario de emisiones atmosféricas área Metropolitana del Valle de Aburra***. En este inventario de emisiones se describe los métodos y resultados obtenidos para cumplir con los objetivos consignados en la Actividad 1: Simulaciones Especiales para el Diseño del Plan de Descontaminación del Aire, en la búsqueda de caracterizar y cuantificar las emisiones de contaminantes atmosféricas que se producen en una determinada zona de estudio, los inventarios de emisiones resultan ser una herramienta muy útil, pues permiten identificar los sectores relevantes por su mayor aporte de contaminantes al aire, información que puede ser utilizada para direccionar los esfuerzos en la reducción de la contaminación, por lo tanto el modelo de inventario de emisiones se convierte en una herramienta indispensable para la gestión de la calidad del aire. Asimismo, se plantean equipos usados en el sector industrial del país como:

- Calderas
- Hornos
- Otros Equipos

La recolección de datos se realizó a través de una base de datos actualizada con la información de 366 empresas y 887 fuentes de emisión, tal información ha sido verificada en campo, a través de correo electrónico y llamadas telefónicas. Entre la información recopilada se tiene:

**Datos de la visita: Fecha y evaluador**

- Datos generales de la empresa: Código ante la autoridad ambiental competente, nombre de la empresa, sector industrial al cual pertenece, dirección, geo-referenciación, jurisdicción, teléfono, municipio, responsable, cargo y correo electrónico.
- Información técnica: Equipo y su clasificación, tipo de combustible y consumo, marca del equipo, año de fabricación, modelo y capacidad, frecuencia de funcionamiento del dispositivo en horas/mes y mes/año, equipo de control de emisiones y porcentaje de eficiencia, diámetro y altura de la chimenea, y si el equipo es una caldera se pide la configuración de la misma y el tipo de alimentación.

Esta base de datos está disponible en un archivo de Excel llamado Inventario _FF 2009.xls, donde se encuentra la información base y las emisiones de aproximadamente 180 contaminantes en kilogramos/hora y toneladas/año, además de una serie de análisis de emisiones por sector, uso de combustibles, mayores emisores, entre otros (Universidad Pontificia Bolivariana, 2010)

**5.1.3 Regional**

***5.1.3.1 Análisis de las emisiones de contaminantes asociados a la fabricación de ladrillos y propuesta de reconversión tecnológica Nemocón – Colombia.*** Este trabajo buscó determinar mejoras tecnológicas en el proceso de fabricación de ladrillos en una vereda del Municipio de Nemocón ubicado en el departamento de Cundinamarca, los autores buscaron disminuir las emisiones de material particulado a la atmósfera, de esta manera obteniendo un impacto positivo en la salud de las personas que se ven afectadas directa o indirectamente por esta actividad.

Como parte inicial de la realización del estudio se efectuó una medición de material particulado en dos hornos uno de Cámara Semicontinua y otro de Fuego dormido, con este estudio se logró cuantificar la concentración en las emisiones generadas por la fabricación de ladrillos, con el fin de establecer si la mejora tecnológica realizada disminuye las concentraciones de este contaminante criterio; posterior a esto se practicaron encuestas a los pobladores de la vereda para identificar si la calidad del aire tiene una relación directa en su salud.

Asimismo realizaron encuestas a los pobladores de la vereda para identificar si la calidad del aire tiene una relación directa en la salud, dentro de los resultados que obtuvieron determinaron que la mejora de la tecnología que fue propuesta disminuyó concentraciones de material particulado PST, PM-10 y PM-2.5 en las emisiones producidas por estas fábricas, aunque no se

encontró una relación clara con enfermedades respiratorias agudas, si se presentan enfermedades como gripa e irritación de las mucosas.

De las conclusiones más relevantes en este trabajo se pudo identificar que el empresario que aún posee procesos productivos dentro de chircales desconoce su negocio, su posición frente al mercado, las tecnologías y las posibles afectaciones al medio ambiente por su actividad. Pese a esto la implementación del horno cámara semicontinua tiene un potencial importante en el gremio ladrillero, ya que permitiría mayor acceso a capital para los empresarios, incrementando sus ingresos económicos y a su vez dando cumplimiento a la normativa ambiental colombiana minimizando los impactos negativos a niveles ecológicos (Arango & Rodríguez, 2017).

***5.1.3.2 Reconversión tecnológica en el sector productivo artesanal de hornos de ladrillo y cal para reducir la contaminación atmosférica en el valle de Sogamoso (Boyacá, Colombia)***. El artículo plantea cómo la industria alfarera ubicada en el valle de Sogamoso por más de 100 años, se ha convertido progresivamente en el principal centro de producción artesanal de ladrillo del departamento de Boyacá, este método de producción cuenta con hornos que afectan drásticamente la calidad del aire ya que los hornos no cuentan con sistemas de control de emisiones atmosféricas, por lo que se ha calculado que un 56% de la contaminación del valle ha sido generada por los métodos artesanales de fabricación de ladrillo dándole las características necesarias para ser considerado como el cuarto corredor industrial con mayor generación de emisiones atmosféricas de material particulado del país, después de Bogotá, Medellín y la ciudadela industrial de norte de Santander. Sin embargo, se han venido generando proyectos por parte de la corporación autónoma de Boyacá que han permitido implementar una serie de medidas que reducen el impacto ambiental que esta práctica genera, como lo refleja la estrategia de reconversión tecnológica.

Por otra parte, son mencionados los diversos problemas que trae consigo la tradición artesanal ya que emplea sistemas productivos ineficientes que, por un lado, necesitan de una cantidad desmedida de distintos combustibles como; leña, carbón, incluso basura, entre otros, que generan gases en cantidades superiores a las permisibles. Por otro, estas tecnologías limitan la competitividad por aspectos de calidad y variedad de productos es desde este punto que surge la necesidad de aplicar propuestas encaminadas al mejoramiento de los procesos que se dan en la ladrilleras artesanales mediante la utilización de la reconversión tecnológica es indispensable

tener en cuenta la implementación del control de calidad, la seguridad industrial y ergonómica del personal de la planta, así como la preservación y cuidado del medio ambiente.

Por último, como resultado sobresaliente se establece que la aplicación de la normatividad emitida por Corpoboyacá tendiente a regular la actividad artesanal de la producción de ladrillo y cal del valle de Sogamoso ocasionó la reconversión tecnológica con estructuras tipo Hoffman de 280 hornos de ladrillo, tecnificando la actividad convirtiendo de esta manera a artesanos comunes en empresarios involucrados en la preservación del ambiente (Gómez, Carreño & Rojas, 2015)

## 5.2 Marco Teórico

**5.2.1 Política nacional de producción y consumo sostenible**. Hoy en día, los problemas ambientales que se enfrentan a nivel mundial han ido alcanzando proporciones alarmantes, y el afán del ser humano por satisfacer sus crecientes necesidades, basadas en modelos de producción y consumo insostenibles, están poniendo en riesgo la base de los recursos naturales que soportan las actividades de las generaciones presentas y futuras (IBIDEM, 2018)

Sin embargo, en los últimos años la comunidad internacional ha reconocido la gravedad de estos problemas y los grandes foros mundiales, en especial los del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, han coincidido en determinar que la protección del ambiente es una responsabilidad conjunta, lo que implica una articulación entre lo público y lo privado; logrando de esta forma hacer un llamado inminente a modificar los actuales patrones de producción y consumo, labor que debe promoverse tanto en países desarrollados como aquellos en vía de desarrollo (IBIDEM, 2018)

Atendiendo a estas consideraciones, Colombia en el año 2010 promulgo la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible, donde se integra la Política Nacional de Producción Más Limpia y el Plan de Mercados Verdes como estrategias del Estado Colombiano que fomentan y vinculan el mejoramiento ambiental y la transformación productiva con la competitividad empresarial. En este sentido, se orienta a modificar los patrones de producción y consumo insostenibles por parte de los diferentes actores de la sociedad, contribuyendo a la reducción de la contaminación, conservación de los recursos, uso sostenible de la biodiversidad, entre otros,

como principios de la competitividad empresarial y la calidad de vida (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial , 2010)

Lo anterior permite tener una mayor oferta de bienes y servicios más sostenibles en los mercados, lo que contribuye a promover un consumo sostenible; y sin duda la producción más limpia y el consumo sostenibles son conceptos complementarios entre sí, pues uno conlleva e impulsa al otro. Es así como la oferta de productos más limpios promueve el consumo sostenible, y la demanda de productos sostenibles potencia la producción más limpia. Esta constante interacción y su efecto sobre los impactos ambientales y la competitividad empresarial, convierte a la producción y consumo sostenible (PyCS) en eje importante de las políticas de desarrollo y ambientales a nivel nacional (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

**5.2.2 Producción Más Limpia – PML.** De acuerdo con el Manual de Gestión Ambiental Sector Ladrilleras, 2006, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA define la Producción Más Limpia (PML) como: "La aplicación continua de estrategias ambientales preventivas integradas a los procesos, productos y servicios ofrecidos por una organización, con el objetivo de reducir los riesgos inminentes en el ser humano y el medio ambiente" (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2006,p.11)

Este concepto implica acciones de mejoramiento continuo del desempeño ambiental de una empresa, con un enfoque preventivo orientado hacia el control de la emisión de contaminantes en la fuente, disminuyendo al máximo su producción y su descarga al ambiente.

Por otra parte, los procesos productivos pueden ser más limpios realizando cambios en los materiales, insumos, innovaciones tecnológicas y el mejoramiento de las prácticas operacionales. Igualmente, a los productos se les puede hacer un análisis de ciclo de vida, enfocado en la reducción de los impactos negativos sobre los recursos naturales, desde la extracción de las materias primas hasta la disposición final del producto, una vez finalizada su vida útil (Área Metropolitana del Valle Aburrá, 2006).

En consecuencia, la Producción Más Limpia es observar el aspecto ambiental como una estrategia de competitividad empresarial encaminada a reducir las ineficiencias en los procesos productivos, logrando hacer más con menos; y por ello para desarrollar proyectos enfocados a la Producción Más Limpia se deben llevar a cabo las siguientes etapas (Arias, 2017)

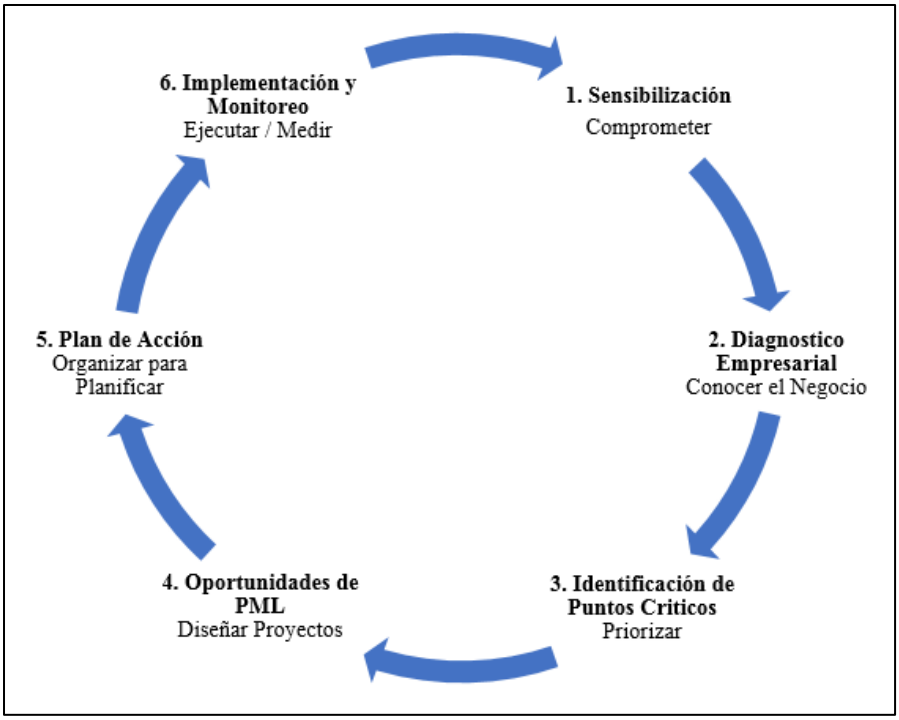



*Figura 1.* **Etapas de un Proyecto en PML.** Elaborada por los Autores con base en datos obtenidos de Arias (2017)

**5.2.3 Gestión ambiental empresarial.** La Gestión Ambiental se define como el conjunto de acciones encaminadas al uso, conservación o aprovechamiento regulado de los recursos naturales y del medio ambiente en general, y de esta forma también relaciona la práctica de las actividades humanas pues afectan el ambiente en mayor o menor grado (Secretaría Distrital de Ambiente, n.d.).

En efecto la Gestión Ambiental Empresarial permite a las industrias y organizaciones ir más allá del cumplimiento normativo, ya que se considera una herramienta que permite desarrollar estrategias de carácter preventivo e incorporar los aspectos ambientales dentro de toda la estructura organizacional de la empresa y de sus procesos productivos logrando ser más eficientes, con el objetivo de encaminarse hacia la competitividad y el desarrollo sostenible (Zapata, 2007).

**5.2.4 Eficiencia energética**. La eficiencia energética se ha abordado a través del tiempo por medio de diferentes teorías, sin embargo, con base a la delimitación que tiene el proyecto el cual se fundamenta en la fabricación de ladrillo por métodos artesanales se tomó como principal referente teórico lo planteado en el Programa de Eficiencia Energética en ladrilleras de América Latina para mitigar el cambio climático (EELA).

En este programa se ha definido la eficiencia energética como la relación que se establece hacia el uso óptimo de los recursos energéticos sin que se vea afectada la producción en la industria ladrillera, esto mediante la búsqueda de diversas posibilidades para la reducción del consumo energético que a su vez represente ventajas tanto a nivel económico como ambiental. Dichas posibilidades o medidas de aplicación para la eficiencia energética pueden ser simples y de bajo costo como lo es el engrosamiento de las paredes del horno y de alto costo como se refleja en el cambio a hornos continuos que posean una alta eficiencia.

Debido a lo anterior estimar cuan eficiente es una empresa ladrillera se puede determinar conociendo el consumo específico de energía en el proceso productivo, el que se clasifica según el consumo de combustible y el consumo de energía eléctrica. Teniendo en cuenta esto se determina que el consumo específico de energía está dado por la relación entre el consumo de energía y la producción reportada de ladrillos lo que genera como resultado un indicador que abre la posibilidad de definir si la empresa hace un uso eficiente o no de la energía (EELA, 2015).

## 5.3 Marco Conceptual

Con el objeto de generar un acercamiento más profundo al marco conceptual que abarca la investigación y que tiene una estrecha relación con el proceso de elaboración de ladrillo por métodos artesanales se resaltan a continuación los conceptos más relevantes a lo largo de la investigación.

**5.3.1 Oportunidades de producción más limpia.** Las oportunidades de producción más limpias son aquellas que surgen a partir de una serie de análisis de operaciones y procesos, teniendo en cuenta variables como la tecnología, la materia prima y los procedimientos que se llevan a cabo dentro de los mismos. Esto con el fin de determinar cuáles son las oportunidades más viables a nivel ecológico, social y económico que generarían resultados a corto o largo plazo (Arias, 2017).

**5.3.2 Reconversión Tecnológica**. La reconversión tecnológica es el proceso de sustitución en el cual las antiguas tecnologías se sustituyen por unas más modernas eficaces y útiles para el desarrollo de una determinada empresa. El mejoramiento se debe dar de manera paulatina por medio de actualizaciones dentro del proceso productivo de manera que tanto los equipos y

procesos se encuentren actualizados a los requerimientos que actualmente se dan a nivel global y/o local (Moros, Santacoloma & Sánchez, 2004)

**5.3.3 Chircal.** Área donde se realizan actividades para la elaboración de ladrillo por métodos artesanales, la cual se caracteriza por generar altos impactos ambientales negativos.

**5.3.4 Ladrillo.** El ladrillo es un material de construcción generalmente ortoédrico, resultante de la propiedad plástica de la materia prima empleada, la arcilla, que al moldearse con agua, una vez seca y tras su posterior cocción adquiere una gran dureza y resistencia (Bianucci, 2009)

**5.3.5 Proceso de elaboración del ladrillo.** El proceso de elaboración del ladrillo se realiza mediante las siguientes etapas:

**Figura 2. Proceso**

| Proceso | Descripción |
|---|---|
| **Extracción** | El proceso de extracción hace referencia a la actividad de explotación a cielo abierto de la materia prima, arcilla, la cual se puede desarrollar por métodos manuales o mediante la utilización de maquinarias, esto dependiendo de la clasificación de la industria y su capacidad productiva. Este proceso requiere de 2 a 3 horas de explotación para un lote de producción de 45.000 ladrillos. |
| **Maduración Y Preparación** | Posterior al proceso de extracción, la arcilla es dejada al aire libre con el objetivo de favorecer la desintegración de esta. Tal efecto se logra, por la presencia de los cristales de agua que se forman durante las heladas, lo cual aumenta el volumen de la masa y retoma a su volumen inicial desintegrándose en unidades más pequeñas por la ausencia del agua evaporada. Luego se mezcla con arena, dejándose en reposo para lograr el proceso de envejecimiento que favorece la elaboración de los ladrillos (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2006). |

| Proceso | Descripción |
|---|---|
| **Moldeo O Extrusión** | El proceso de moldeado consiste en la hechura y corte de las piezas de forma manual o por medio de una extrusora, la cual en este caso está elaborada de manera artesanal ya que funciona por medio de una banda y un motor ensamblados al chasis de un tractor. El método utilizado hace que los tiempos de esta actividad sean mayores y su productividad baja. |
| | |
| **Secado** | Este proceso busca acondicionar los ladrillos a través de una deshidratación relativamente rápida para posteriormente someter el producto a una cocción definitiva con las propiedades deseadas. El secado de las piezas se realiza por medio de ventilación no forzada, es decir al aire libre gracias a las corrientes de aire (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2006). |
| | |
| **Cocción** | En esta etapa se modifican las características de las arcillas, se realiza |

| Proceso | Descripción |
|---|---|
| <br> | la quema y la transformación de la materia prima en ladrillo. Durante este proceso las piezas pasan por complejas reacciones regidas por su composición química y mineralógicas, sufriendo así una ligera contracción y adquiriendo una estructura característica que le da resistencia al ladrillo terminado.<br><br>Este proceso es llevado a cabo en diferentes tipos de hornos, los cuales tipifican el nivel tecnológico de la industria. En este caso, los hornos utilizados son conocidos como Hornos Fuego Dormido, que son construidos artesanalmente en forma circular generando una bóveda, el material se carga por una puerta lateral alternando capas de carbón y ladrillo, no poseen techo ni chimenea. La cocción dura aproximadamente 30 días, el material producido es de baja calidad y la capacidad productiva es de aproximadamente 30.000 a 45.000 unidades por horneada (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2006). |

Nota: Elaborada por los Autores

**5.3.6 Factores de emisión**. Un factor de emisión es la relación entre la cantidad Un factor de emisión es la relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad o del proceso, tales como el consumo de energía, el consumo de materia prima, el consumo de combustible, las unidades de producción, el calendario de operación, el número de dispositivos o las características de estos, entre otros. El uso de los factores de emisión es apropiado cuando los materiales que se emplean son consumidos o combinados químicamente en los procesos o cuando se producen bajas pérdidas de material por liberación a la atmósfera, en comparación con las cantidades que se tratan en el proceso. Los factores de emisión representan

valores promedio de un rango de tasas de emisión, es decir, que en algunos casos las emisiones de la actividad variarán con respecto al resultado del factor de emisión, dependiendo de los valores que se utilizan para el análisis.

Los factores de emisión que se deben utilizar por las fuentes antes mencionadas son los establecidos en el documento AP-42 *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* (EPA, 1995) el cual contiene los factores de emisión definidos en Estados Unidos para una gran cantidad de actividades. Los factores de emisión que se incluyen en este documento se agrupan en quince (15) capítulos, cada capítulo cuenta con secciones, subsecciones, y sub-subsecciones inclusive, para exponer los factores de emisión por fuentes o procesos industriales específicos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial , 2010)

**5.3.7 Emisiones**. Se definen las emisiones como las descargas de sustancias o elementos al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente móvil o fija natural o artificial (Decreto 948, 1995)

**5.3.8 Contaminantes**. Son fenómenos físicos, o sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que, solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas (Decreto 948, 1995)

- **Material Particulado (PM)**. Son partículas compuestas por cenizas, polvo, hollín, entres otras. Están compuestas principalmente por compuesto inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados, entre otros. El material inorgánico está asociado a partículas de carbono (hollín), y dentro de los metales pesados, desde el punto de vista toxicológico se encuentran el arsénico, cadmio, flúor, cobre, mercurio y plomo.
- **Dióxido de Azufre (SO2).** Es un gas incoloro y no inflamable, de olor fuerte e irritante, emitido en mayor cantidad después del monóxido de carbono (CO). Su vida media en la atmósfera es corta, de 2 a 4 días aproximadamente. Es emitido por actividades humanas, sobre todo por la combustión de combustibles fósiles y por la metalurgia, debido a la reacción entre el aire de la combustión y el azufre contenido en el combustible.

- **Óxidos de Nitrógeno (NOx).** Se produce por las combustiones realizadas a altas temperaturas, debido a la reacción entre el nitrógeno presente en el aire y en el combustible y el oxigeno del aire, siendo precursor del smog fotoquímico.

**5.3.9 Fuente de Emisión.** Es toda actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire (Decreto 948, 1995)

**5.3.10 Fuente Fija.** Es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa (Decreto 948, 1995)

**5.3.11 Fuente Fija Dispersa o Difusa**. Es aquélla en que los focos de emisión de una fuente fija se dispersan en un área, por razón del desplazamiento de la acción causante de la emisión, como en el caso de las quemas abiertas controladas en zonas rurales (Decreto 948, 1995)

**5.3.12 Inventario de Emisiones**. Es un conjunto de datos que caracterizan y consolidan, mediante sumatoria, las emisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo con el tipo de fuente y el tipo y cantidad de contaminantes emitidos, en un área geográfica y en un intervalo de tiempo determinados.

Los inventarios de emisiones son instrumentos indispensables en los procesos de gestión de calidad del aire y toma de decisiones, ya que son el punto de partida para la implementación, evaluación y ajuste de programas y medidas de control, tendientes a mejorar la calidad del aire. Un inventario de emisiones debe ser completo y preciso, en la medida de las posibilidades técnicas disponibles y de acuerdo con los objetivos planteados. Estas dos características son importantes, ya que la información obtenida se convierte en la base para la determinación de estrategias de control y normas nacionales, entre otros. Cualquier error en ellas podría conllevar a resultados no deseados de las estrategias formuladas. El inventario de emisiones debe mejorar estas características en la medida en que se hace dinámico y se ajusta y complementa de forma periódica. Asimismo, el objetivo general de un inventario de emisiones atmosféricas es cuantificar las emisiones generadas por un grupo de fuentes o actividades de interés (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017)

**5.3.13 Balance de Materia**. Métodos de solución que permiten determinar la distribución de flujos de materia y energía en un proceso químico (Reklaitis, 1986)

## 5.4 Marco Geográfico

A continuación, se delimita la ubicación y se presentan las características generales de aspectos geográficos, hidrográficos, económicos y ecosistémicos de la zona de estudio para el desarrollo del proyecto.

**5.4.1 Ubicación.** El municipio de Nemocón hace parte del departamento de Cundinamarca y se encuentra localizado en la provincia de la Sabana Centro perteneciendo a la cuenca alta del Río Bogotá. Su cabecera municipal está localizada a los 5° 04’ 09” de Latitud Norte y 73° 52’ 48” de Longitud Oeste. Limita por el norte con el municipio de Tausa, al oriente con el municipio de Suesca, por el sur con los municipios de Gachancipá y Zipaquirá, y al occidente con el municipio de Cogua, y los ríos Neusa y Checua (Alcaldía Municipal de Nemocón Cundinamarca, 2018). La siguiente tabla muestra algunos aspectos relevantes del municipio:

**Tabla 1. Datos generales de la ubicación del municipio de Nemocón Cundinamarca**

| Aspecto | Descripción |
|---|---|
| Altitud | 2.585 msnm |
| Temperatura Media | 12,8 °C |
| Extensión Total | 9.811,19 Ha. Km2 |
| Extensión Área Urbana | 61,19 Ha. Km2 |
| Extensión Área Rural | 9.750 Ha. Km2 |

*Nota:* Elaborada por los Autores con base en datos obtenidos de Alcaldía Municipal Nemocón (2018)

A continuación, se muestran los mapas correspondientes a la localización del municipio de Nemocón en el contexto nacional y departamental.

*Figura 3.* **Mapa de localización geográfica del municipio de Nemocón en el contexto Nacional y Departamental.** Datos obtenidos de Alcaldía Municipal Nemocón (2018)

Sin embargo, la zona de estudio se limita al sector El Plan de la vereda Patio Bonito, localizada dentro del municipio de Nemocón, departamento de Cundinamarca. La vereda Patio Bonito se ubica al Noroccidente del municipio (ver Figura 3), con un área aproximada de 500 hectáreas, donde en su totalidad la vocación del suelo es minera, lo que permite la explotación de arcilla como materia prima para la producción de ladrillo, bloque, pisos y teja de barro. Además, es la vereda más poblada del municipio con un total de 2.394 habitantes aproximadamente (Alcaldía Municipal de Nemocón, 2018).

*Figura 4.* **Localización Geográfica de la vereda Patio Bonito dentro el municipio de Nemocón.** Datos obtenidos de Alcaldía Municipal Nemocón (2018)

**5.4.2 Geografía.** Este municipio tiene determinantes geográficas y ambientales importantes que corresponden a su ubicación en el norte de la Cordillera Andina, además hace parte del altiplano Cundiboyacense. Su relieve pertenece a la Sabana de Bogotá, en su mayoría plano con algunas inclinaciones moderadas y se encuentran algunos accidentes orográficos tales como: Cuchilla del Santuario, Cuchilla El Perico, Alto Monte Carmelo y Cerro verde. Se encuentran dos sectores propensos a la erosión por fenómenos geográficos, climatológicos y atmosféricos, incrementándose el grado de erosión por nuevos asentamientos dedicados a los chircales en las veredas de Patio Bonito, Cerro Verde, Checua y Moguá.

La vereda Patio Bonito tiene un terreno en su mayoría montañoso, sin embargo, cuenta con un área semiplana hacia el costado sur occidental denominada El Plan. Los suelos de la vereda son zonas de mediana capacidad agrológica, caracterizadas por un relieve moderadamente ondulado a alto, de profundidad efectiva de superficial a moderadamente profunda, con alta sensibilidad a la erosión y acelerada por la intensa explotación de arcilla (Alcaldía Municipal de Nemocón, 2018).

**5.4.3 Usos de Ecosistemas**. Nemocón se caracteriza por contener en su relieve una zona plana y otra de ladera. Las tierras altas son ambientalmente estratégicas ya que alcanzan a tener en algunos casos vegetación nativa y éstas son reguladoras del recurso hídrico, a diferencia de las zonas planas, donde se incrementa el déficit de este recurso.

Las zonas de ladera son utilizadas principalmente para el cultivo de maíz, arveja y cebada, además de cultivar trigo, papa, haba y hortalizas a menor escala. En la zona de piedemonte se observa básicamente floricultura y ganadería extensiva. Sin embargo, en las fincas ganaderas se hace un uso intensivo de agroquímicos y maquinaria agrícola; y la floricultura en estas zonas requiere de un gran aprovechamiento del recurso hídrico, el cual captan de reservorios subterráneos, generando así grandes impactos ambientales en estas zonas.

La ganadería a menor escala que se observa en las zonas de ladera trae como consecuencia el sobrepastoreo, generando erosión, problemas de compactación y baja fertilidad del suelo. Este tipo de ganadería junto con los cultivos de arveja y papa se han ido extendiendo rápidamente

amenazando con sobrepasar la frontera agrícola y reduciendo de esta forma las zonas protectoras de especies nativas y agua.

En la vereda Patio Bonito, los suelos cumplen funciones minero-extractivas por sus características geológico-mineras, y actualmente son objeto de aprovechamiento de sus minerales en especial el carbón y la arcilla, extraídos de forma subterránea o a cielo abierto, respectivamente. Estos suelos hacen parte de las unidades territoriales objeto de título minero, donde sus usos son condicionados y están sujetos a las exigencias de las autoridades ambientales.

Estas áreas de chircales donde se hace una extracción intensiva de materia prima (arcilla), están presentando graves problemas de desestabilización de los suelos, que en asocio con las características climáticas del sector han ocasionado serios procesos erosivos. Aunque la autoridad ambiental ha llevado a cabo obras de control de erosión, revegetación y mitigación de la escorrentía; pero que, debido a la falta de un ordenamiento en las explotaciones, una asistencia técnica adecuada y un seguimiento continuo, hace que se siga presentando un alto impacto en las áreas en proceso de recuperación y el incremento del deterioro de los recursos naturales del municipio (Alcaldía Municipal de Nemocón, 2018).

**5.4.4 Cuencas hidrográficas**. El municipio de Nemocón pertenece a la cuenca mayor del Río Bogotá - cuenca Río Tibitó. Además, presenta dos subcuencas, el río Checua que cubre 8.334 Hectáreas correspondientes al 85% del área total del municipio; y el río Neusa cubriendo 311 Hectáreas que corresponden al 30% del municipio.

Por otra parte, el páramo de Guerrero y Guargua conforman una estrella hidrográfica de importancia para la economía de los municipios como Nemocón, Zipaquirá, entre otros, pues de estos ecosistemas se derivan acueductos regionales importantes como Sucuneta que en la actualidad abastece del recurso hídrico a Nemocón. También se encuentra el acueducto regional de Zipaquirá-Cogua-Nemocón que capta las aguas del río Neusa (Alcaldía Municipal de Nemocón, 2018).

**5.4.5 Economía**. La principal actividad económica del municipio es la fabricación de ladrillo, tejas, entre otros productos, que se desarrolla principalmente en las veredas Patio Bonito y Cerro Verde.

No obstante, existen pocas empresas de avanzada tecnología dedicadas a este tipo de industria, la mayoría son pequeños chircales en los cuales se necesita aplicar y desarrollar tecnologías ecológicas de explotación, procesamiento y comercialización, de tal manera que se

puedan superar los actuales niveles de pobreza de la población que depende de esta actividad. Una alternativa es la asociación de estos pequeños productores para lograr abrir mercados de comercialización y que logren ser más competitivos.

Los cultivos de flores son considerados así mismo como industria empresarial y ocupan gran parte de la mano de obra del municipio. Adicionalmente existen explotaciones de caolín por parte de Sumicol (Insumos Industriales Corona), que extraen la materia prima para luego ser procesada en plantas de Madrid y Sopó, para la elaboración de losa y baldosín; como también explotaciones de arena de peña por una empresa llamada Arenas Nemocón Ltda. Ubicada en la vereda La Puerta.

La explotación de sal también es una actividad económica de gran importancia, ya que Nemocón ocupa el tercer lugar en producción de sal y el segundo en sal gema, en el Departamento. En la actualidad es explotada por IFI – Concesión Salinas, cabe anotar que el municipio recibe regalías por dicha explotación (Alcaldía Municipal de Nemocón, 2018).

## 5.5 Marco legal y normativo

El estudio estará establecido dentro del marco normativo Colombiano promulgado en temas relacionados principalmente con la calidad del aire en los que se incluyen especialmente los límites máximos permisibles y protocolos para control y vigilancia de la calidad del aire, con el fin de verificar el cumplimiento normativo a través de la comparación de los datos obtenidos sobre las emisiones de gases contaminantes, por parte de la industria para la elaboración de ladrillos por métodos artesanales en el sector El Plan, vereda Patio Bonito del municipio de Nemocón – Cundinamarca.

### 5.5.1 Normatividad Internacional

**Tabla 2. Normatividad internacional referente a temas del recurso aire y desarrollo sostenible**

| Norma | Año | Promulga | Descripción |
|---|---|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| Declaración de Estocolmo | **1972** | Organización de las Naciones Unidas | Fue el resultado emitido por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, en donde 113 países se reunieron a debatir por primera vez la creciente problemática del medio ambiente haciendo resaltar la importancia de este sobre la calidad de vida del ser humano; convirtiéndose así en la "Carta Magna" del Derecho Internacional Ambiental, que contiene 26 principios y un Plan de Acción con 109 recomendaciones (ONU, 1972) |
| Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono | **1985** | Organización de las Naciones Unidas | Este convenio presentó el marco de trabajo para promover la cooperación entre los países a través de las observaciones sistemáticas, investigaciones e intercambio de información sobre el impacto que generan las actividades humanas en la capa de ozono y así ejecutar medidas preventivas sobre la producción y las emisiones de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO), en busca de proteger la salud humana y el medio ambiente (PNUMA, 2001) |
| Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono | **1987** | Organización de las Naciones Unidas | Nace como resultado concreto de los objetivos planteados por el convenio de Viena, mediante la adopción de medidas preventivas que controlan equitativamente las emisiones mundiales totales, con el fin de reducir y finalmente eliminar la producción y el consumo de numerosas sustancias que son responsables del agotamiento de la capa ozono (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible , 2018) |

Tabla 2 (continua)

| Norma | Año | Promulga | Descripción |
|---|---|---|---|
| Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático | **1992** | Organización de las Naciones Unidas | Se reconoce la existencia de la problemática del Cambio Climático, y se establece como objetivo lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. La Convención establece un marco general para los esfuerzos intergubernamentales que hagan frente a los desafíos provocados por el cambio climático (ONU, 1992) |
| Agenda 21 | **1992** | Organización de las Naciones Unidas | Es un programa firmado por 172 países en la Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo de Rio de Janeiro, donde se busca promover el desarrollo sostenible en los países miembro proporcionando los lineamientos que orienten a las acciones y políticas de los países para consolidar un nuevo modelo de desarrollo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012). |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Protocolo de Kioto | **1998** | Organización de las Naciones Unidas | Es un acuerdo firmado por los países en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, donde se establecen metas vinculantes de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono ($CO_2$), metano ($CH_4$), óxido nitroso ($N_2O$), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF6), para los países industrializados, reconociendo que son los principales responsables de los elevados niveles de emisiones que hay actualmente en la atmósfera y bajo el principio de las responsabilidades comunes pero diferenciadas (Cepal, 2018) |
| Rio +20 | **2012** | Organización de las Naciones Unidas | Como resultado dejó el documento *"El Futuro Que Queremos"*, aprobado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, desarrollada en Río de Janeiro, Brasil en el año 2012. Esta conferencia se enfocó en dos temas principales, la economía verde en el contexto del Desarrollo Sostenible y la erradicación de la pobreza, y el marco institucional para el Desarrollo Sostenible, estableciendo medidas claras y prácticas para la implementación de este e iniciar un proceso para desarrollar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, basados en los Objetivos de Desarrollo del Milenio (Cepal, 2016) |
| Acuerdo de París | **2015** | Organización de las Naciones Unidas | Este acuerdo ofrece una oportunidad a los países firmantes para que fortalezcan la respuesta a la amenaza del Cambio Climático, donde se pretende mantener el aumento de la temperatura global muy por debajo de los 2°C, promoviendo la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de carbono, así como también la disminución de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (ONU, 2015) |

Nota: Elaborada por los Autores

### 5.5.2 Normatividad Nacional

**Tabla 3. Normatividad Nacional**

| Norma | Datos generales | |
|---|---|---|
| **Constitución Política de Colombia** | **Año** | **Promulga** |
| | 1991 | Asamblea Nacional Constituyente |
| | **Descripción** | |

<table>
<tr><td></td><td colspan="2">Es la carta de navegación del país, en donde se especifican los principales derechos y deberes de los ciudadanos, además de definir la estructura y organización del Estado. La constitución política de Colombia establece en varios de sus artículos la importancia del cuidado del medio ambiente y el uso de los recursos naturales, los cuales priman por encima de cualquier actividad. Los siguientes artículos están relacionados con los recursos naturales y el ambiente:<br>Art. 8 - Obligación del Estado de proteger las riquezas naturales de la Nación;<br>Art. 49 - Consagra como servicio público la atención de la salud y el saneamiento ambiental y ordena al Estado la organización, dirección y reglamentación de los mismos;<br>Art. 58 - Establece que la propiedad es una función social que implica obligaciones y que, como tal, le es inherente una función ecológica;<br>Art. 63 - Determina que los bienes de uso público, los parques naturales, las tierras comunales de grupos étnicos y los demás bienes que determine la Ley, son inalienables, imprescriptibles e inembargables;<br>Art. 79 - Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines;<br>Art. 80 - El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Asimismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas;<br>Art. 88 - Consagra acciones populares para la protección de derechos e intereses colectivos sobre el medio ambiente, entre otros, bajo la regulación de la Ley. (Constitución Política de Colombia, 1991)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Decreto Ley 2811</td><td>Año</td><td>Promulga</td></tr>
<tr><td>1974</td><td>Presidencia de la Republica</td></tr>
<tr><td colspan="2">Descripción</td></tr>
<tr><td colspan="2">Se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, en el cual se establece que el ambiente es patrimonio común, y por eso el Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social. Además, está fundado en el principio de que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos, teniendo por objeto: 1. Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables; 2. Prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos; 3. Regular la conducta humana, individual o colectiva y la actividad de la administración pública, respecto del ambiente y de los recursos naturales renovables. (Decreto Ley 2811, 1974)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Ley 9</td><td>Año</td><td>Promulga</td></tr>
<tr><td>1979</td><td>Congreso de la República</td></tr>
<tr><td colspan="2">Descripción</td></tr>
</table>

| | | |
|---|---|---|
| | Conocido como el Código Sanitario, en donde se dictan las medidas del sector que tienen como objeto para la protección del Medio Ambiente establecer las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la Salud Humana, además de los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente. (Ley 9, 1979) | |
| **Ley 99** | **Año** | **Promulga** |
| | 1993 | Congreso de la República |
| | **Descripción** | |
| | Catalogada como la norma base para la Gestión Ambiental en el país, y por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones en cuanto hace referencia al apoyo y función de estas instituciones. (Ley 99 , 1993) | |
| **Ley 164** | **Año** | **Promulga** |
| | 1994 | Congreso de la República |
| | **Descripción** | |
| | Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", realizada en Nueva York el 9 de mayo de 1992. (Ley 64, 1994) | |
| **Decreto 948** | **Año** | **Promulga** |
| | 1995 | Ministerio del Medio Ambiente |
| | **Descripción** | |
| | Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Asimismo, contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire, mediante el cual se establecen las normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención, control y atención de episodios por contaminación del aire generada por fuentes contaminantes fijas y móviles, las directrices y competencias para la fijación de las normas de calidad del aire o niveles de inmisión, las normas básicas para la fijación de los estándares de emisión y descarga de contaminantes a la atmósfera, las de emisión de ruido y olores ofensivos, se regulan el otorgamiento de permisos de emisión, los instrumentos y medios de control y vigilancia, el régimen de sanciones por la comisión de infracciones y la participación ciudadana en el control de la contaminación atmosférica. En el capítulo VII, Permisos de Emisión para Fuentes Fijas; Articulo 73. Casos que requieren permiso de emisión atmosférica, se establece la actividad ladrillera como parte del Literal H. Procesos o Actividades susceptibles de producir emisiones de sustancias toxicas, debido a los gases contaminantes que esta emite. (Decreto 948, 1995) | |
| **Resolución** | **Año** | **Promulga** |

| | | |
|---|---|---|
| **619** | 1997 | Ministerio del Medio Ambiente |
| | **Descripción** | |
| | Se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas. Por lo tanto, la actividad de elaboración de ladrillo se incorpora en el Artículo 1. Industrias, obras, actividades o servicios que requieren permiso de emisión atmosférica, numeral 2.13. plantas de preparación o beneficio de minerales o materiales cerámicas o silicocalcareos: Cuando la capacidad de molienda sea superior a 5 Ton/día. (Resolución 619, 1997) | |
| **Ley 629** | **Año** | **Promulga** |
| | 2000 | Congreso de la República |
| | **Descripción** | |
| | Por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", realizado en Kyoto el 11 de diciembre de 1997. (Ley 629, 2000) | |
| **Resolución 909** | **Año** | **Promulga** |
| | 2008 | Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial |
| | **Descripción** | |
| | Establece las normas y los estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones En el capítulo x. estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, Artículo 30. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla; Artículo 31. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias nuevas de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla; Artículo 32. Estándares de emisión admisibles de contaminantes peligrosos al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla; Artículo 33. Temperatura de los gases emitidos por las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla; y Artículo 34. Características de las mediciones directas en hornos en industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, se establece todos los limite admisibles para la industria ladrillera. (Resolución 909, 2008) | |

<table>
<tr><td></td><td colspan="3">Estándares de Emisión Admisibles</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, a condiciones de referencia (25 ºC, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 18%.
<table>
<tr><th rowspan="2">Combustible</th><th colspan="3">Estándares de emisión admisibles (mg/m$^3$)</th></tr>
<tr><th>MP</th><th>$SO_2$</th><th>$NO_x$</th></tr>
<tr><td>Sólido</td><td>250</td><td>550</td><td>550</td></tr>
<tr><td>Líquido</td><td>250</td><td>550</td><td>550</td></tr>
<tr><td>Gaseoso</td><td>No Aplica</td><td>No Aplica</td><td>550</td></tr>
</table>
Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias nuevas de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, a condiciones de referencia (25 ºC, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 18%.
<table>
<tr><th rowspan="2">Combustible</th><th colspan="3">Estándares de emisión admisibles (mg/m$^3$)</th></tr>
<tr><th>MP</th><th>$SO_2$</th><th>$NO_x$</th></tr>
<tr><td>Sólido</td><td>50</td><td>500</td><td>500</td></tr>
<tr><td>Líquido</td><td>50</td><td>500</td><td>500</td></tr>
<tr><td>Gaseoso</td><td>No Aplica</td><td>No Aplica</td><td>500</td></tr>
</table>
Estándares de emisión admisibles de contaminantes peligrosos al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, a condiciones de referencia (25 ºC, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 18%.
<table>
<tr><th rowspan="2">Combustible</th><th colspan="2">Estándares de emisión admisibles de contaminantes peligrosos (mg/m$^3$)</th></tr>
<tr><th>HCl</th><th>HF</th></tr>
<tr><td>Todos</td><td>40</td><td>8</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Resolución 760</td><td>Año</td><td>Promulga</td></tr>
<tr><td></td><td>2010</td><td>Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Descripción</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Se adopta a nivel nacional el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. (Resolución 760, 2010)</td></tr>
<tr><td>Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas</td><td>Año</td><td>Promulga</td></tr>
<tr><td></td><td>2010</td><td>Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Descripción</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Tiene como objetivo establecer los procedimientos de evaluación de emisiones, según lo dispuesto en el artículo 72 de la Resolución 909 del 5 de junio de 2008 o la que la adicione, modifique o sustituya. Estos procedimientos de evaluación incluyen medición directa, balance de masas y factores de emisión. Durante la evaluación de emisiones contaminantes, se puede emplear una única metodología o se pueden emplear dos o más de ellas para determinar la confiabilidad de la información obtenida en la cuantificación de las emisiones. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial , 2010)</td></tr>
</table>

| | | |
|---|---|---|
| **Resolución 610** | **Año** | **Promulga** |
| | 2010 | Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial |
| | **Descripción** | |
| | Se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006, en la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. (Resolución 610, 2010) | |
| **Decreto 1076** | **Año** | **Promulga** |
| | 2015 | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible |
| | **Descripción** | |
| | Se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible que tiene por objetivo compilar y racionalizar las normas de carácter reglamentario que rigen en el sector y contar con un instrumento jurídico único para el mismo. (Decreto 1076 , 2015) | |
| **Resolución 2254** | **Año** | **Promulga** |
| | 2017 | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible |
| | **Descripción** | |
| | Por la cual se adopta la Norma de Calidad del Aire Ambiente y se dictan otras disposiciones. (Resolución 2254, 2017) | |

Nota: Elaborada por los Autores con base en las referencias citadas al interior de la tabla

# 6. Marco Metodológico

## 6.1 Enfoque y alcance

El enfoque de esta investigación en relación con cada uno de los objetivos planteados es el enfoque mixto el cual permite analizar características valiosas tanto de lo relacionado con aspectos cualitativos como cuantitativos, para de esta manera obtener mejores resultados en la misma, lo cual se refleja a continuación.

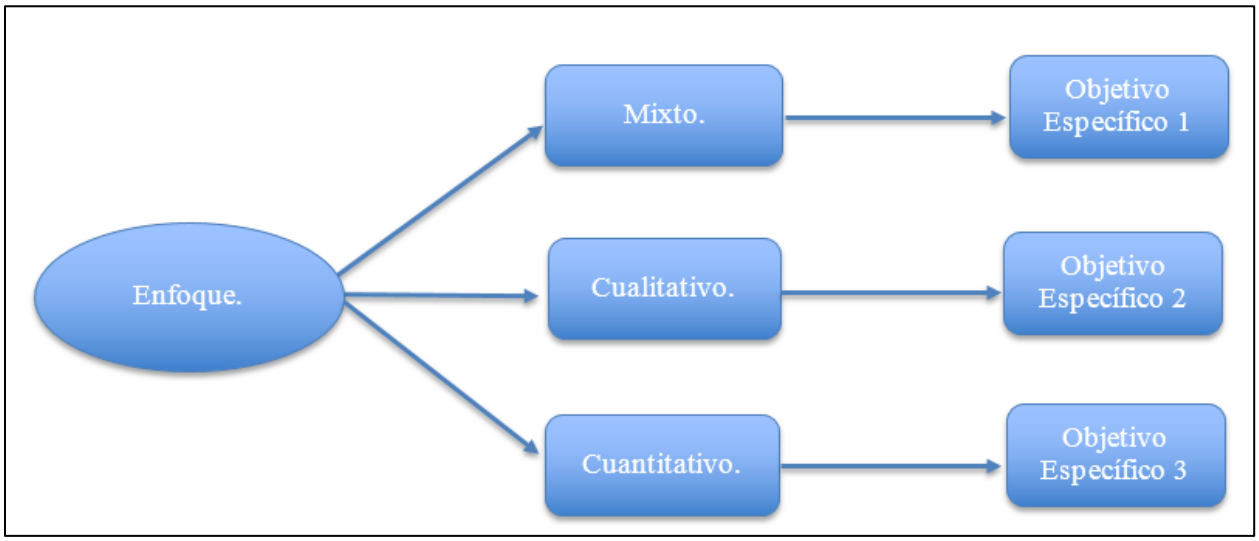



*Figura 5.***Enfoque utilizado en relación a los objetivos.** Elaborada por los Autores

Teniendo en cuenta lo anterior, este método permite analizar la naturaleza compleja de la problemática generada por los procesos de elaboración de ladrillo que ejercen las microempresas que componen el Sector el Plan, en el municipio de Nemocón – Cundinamarca.

La parte cualitativa del proyecto concierne tanto al análisis bibliográfico y observacional del proceso productivo como a la identificación de diversas técnicas que permitan sensibilizar a los empresarios sobre las ventajas que tendría la implementación de un proyecto de reconversión tecnología para las actividades de elaboración de ladrillo por métodos artesanales.

De otro modo la recolección, sistematización y procesamiento de datos tiene relación con lo cuantitativo. Dando lugar a una perspectiva amplia y profunda de todo el sistema productivo y

los actores involucrados en el mismo a través de la vinculación de estos dos enfoques, razón por la cual que se establecerá una visión integral y holística para el planteamiento de soluciones enfocadas en las estrategias de producción más limpia.

Por otra parte los alcances que se establecen para el proyecto son de índole descriptivo y explicativo, ya que nos permite especificar las propiedades, características y perfiles del grupo de microempresarios presentes en el Sector el Plan los cuales son nuestro objeto de estudio, por medio de la recolección de información (descriptivo) mientras procuramos examinar y dar respuesta a la razón por la que se presentan alteraciones e ineficientes actividades en el proceso de elaboración de ladrillo por métodos artesanales (Hernández Sampieri, Fernández & Baptista, 2014).

## 6.2 Método

Para este proyecto se manejó un método inductivo teniendo en cuenta que la investigación se aborda en principio desde una temática general basada en una revisión bibliográfica establecida por 3 niveles sobresalientes los cuales son, internacional, nacional y local para posteriormente delimitar la investigación a un lugar específico, el cual está establecido en el sector el Plan perteneciente al municipio de Nemocón donde se plantearan las estrategias de producción más limpia enfocadas a la reconversión tecnológica, que buscan causar un impacto en los 3 aspectos fundamentales (ecológico, económico y social) que componen el concepto de desarrollo sostenible.

## 6.3 Unidad de Análisis

Las diversas alternativas que se plantean desde la producción más limpia a través de las buenas prácticas empresariales, que serán orientadas a la reconversión tecnológica con el objeto de optimizar el proceso productivo para la elaboración de ladrillo en el sector el Plan, vereda Patio Bonito, municipio de Nemocón es en lo que se delimita la unidad de análisis de este proyecto de investigación.

## 6.4 Informantes, número y calidad

Además de la revisión bibliográfica realizada, el desarrollo del proyecto conto con el apoyo de tres ingenieros de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y dos ingenieros de la Corporación Ambiental Empresarial (CAEM) quienes nos brindaron información valiosa, la cual cuenta con una confiabilidad alta ya que ellos han desarrollado diversos proyectos en el sector de la producción de ladrillos por métodos artesanales.

## 6.5 Variables y Aspectos

Este proyecto cuenta con un objetivo general y tres específicos para los que se diseñaron una serie de actividades a llevar a cabo con el fin de dar cumplimiento a los mismos como se podrá observar más adelante. Asimismo, se evaluaron una serie de aspectos de alta relevancia para la determinación de cálculos y estrategias a desarrollar en la investigación.

## 6.6 Actividades, técnicas e instrumentos

**Tabla 4.**

| Objetivo general | Objetivos específicos | Actividades | Técnicas | Instrumentos | Resultados esperados |
|---|---|---|---|---|---|
| Priorizar oportunidades de producción más limpia orientadas a la reconversión tecnológica de los chircales artesanales del sector El Plan, vereda Patio Bonito del municipio de Nemocón – Cundinamarca. | Realizar un diagnóstico y caracterización de las industrias de producción de ladrillos por métodos artesanales en el sector El Plan, vereda Patio Bonito del municipio de Nemocón – Cundinamarca. | 1. Revisión bibliográfica.<br>2. Diseño de una encuesta de caracterización socioeconómica y productiva<br>3. Visita de campo a las microempresas para la elaboración de ladrillo del Sector el Plan.<br>4. Estimación de las emisiones de gases contaminantes por factores de emisión. | 1. Análisis y discusión de los documentos seleccionados.<br>2. Encuesta.<br>3. Observación del proceso productivo para la elaboración de ladrillo.<br>4. Análisis documental y metodológico. | 1. Libros, artículos científicos, bases de datos, proyectos de investigación.<br>2. Cuestionario.<br>3. Registro Fotográfico.<br>4. Hojas de Cálculo | 1. Conocer ampliamente el proceso de elaboración de ladrillo por métodos artesanales y las diversas mejoras procesos que se han realizado.<br>2. Diagnóstico del proceso productivo para la elaboración de ladrilló en el sector el plan.<br>3. Representación visual de la situación actual en la que se encuentra el proceso productivo para la elaboración de ladrilló en el sector el plan.<br>4. Cuantificación de las emisiones producidas por el proceso de cocción en los hornos presentes en el sector el plan. |
| | Identificar las oportunidades de producción más limpia para las industrias de fabricación de ladrillos por métodos artesanales en el sector El Plan. | 1. Identificar áreas críticas del proceso productivo para la elaboración de Ladrillo por métodos artesanales en el Sector el Plan.<br>2. Determinar amenazas, fortalezas, debilidades y oportunidades en el proceso productivo.<br>3. Establecer alternativas de producción más Limpia | 1. Análisis de los consumos energéticos y generación de residuos en el proceso<br>2. Análisis documental.<br>3. Análisis documental | 1. Ecomapa.<br>2. Matriz DOFA<br>3. Matriz de diagnóstico de Alternativas.<br>4. Ecobalance | 1. Reconocer las áreas que requieren la implementación de estrategias de PML<br>2. Comprender y adquirir herramientas para la toma de decisiones en lo que respecta al proceso productivo<br>3. Seleccionar las alternativas de PML que se aplicaran a las ladrillaras. |
| | Diseñar los proyectos con las oportunidades de producción más limpia para la industria de elaboración de ladrillos. | 1. Plantear los modelos de reconversión tecnología seleccionados.<br>2. Realizar diseños estándar para las oportunidades de producción más limpia seleccionadas | I. Análisis comparativo de los aspectos económicos, sociales y ecológicos del proyecto de reconversión tecnológica planteado<br>II. Análisis documental | 1. Hojas de Cálculo.<br>2. Costos de Ineficiencia<br>3. Archivo en formato DWG | 1. Plantear el proceso técnico de reconversión tecnológico más apropiado para el área de estudio.<br>2. Diseño final de la estrategia de reconversión tecnológica seleccionada.<br>3. Calcular las toneladas de emisiones evitadas, la disminución del consumo de combustible, el incremento de la producción y las mejoras en el nivel de ingresos. |

Nota: Elaborada por los Autores

## 6.7 Fases de la Investigación

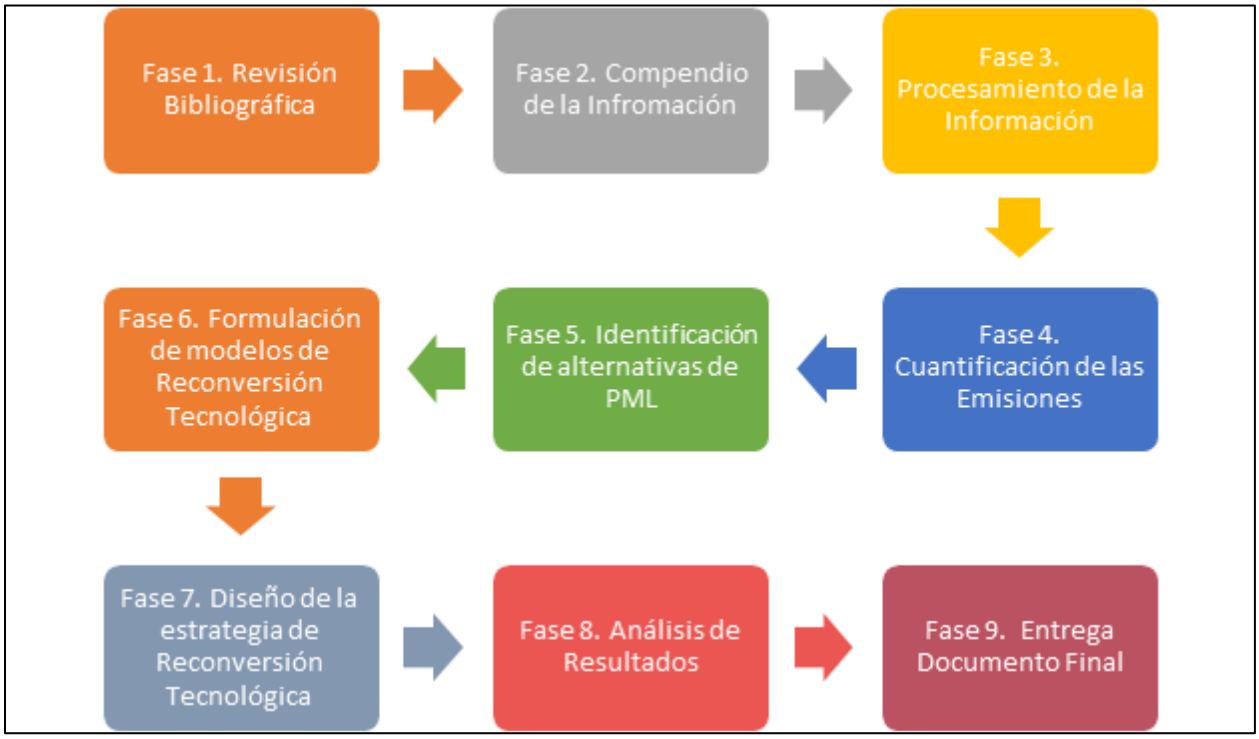



*Figura 6.* **Fases de la Investigación.** Elaborada por los Autores

Con base en la figura 6, se especifican las fases de la investigación a continuación:

**Fase 1. Revisión Bibliográfica**. La revisión bibliográfica como ya fue mencionado anteriormente se dividió en tres niveles internacional, nacional y local los cuales permitieron determinar algunos referentes teóricos específicos, para de esta manera delimitar y guiar la investigación con el fin de dar cumplimiento a los objetivos que se plantearon para la misma.

**Fase 2. Compendio de la Información**. Por medio de una encuesta compuesta por 38 preguntas, diseñada con el acompañamiento de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca se identificaron aspectos importantes en lo que respecta a la producción, información ecológica o ambiental y social entre otras características específicas de la producción de ladrillo por métodos artesanales en el Sector el Plan

**Fase 3. Procesamiento de la Información**. Las encuestas se digitalizaron y sistematizaron por medio de hojas de cálculo en Excel para de esta manera realizar las gráficas y cálculos necesarios para el análisis de la información recolectada.

**Fase 4. Cuantificación de las Emisiones**. La estimación de las emisiones de gases contaminantes (Pm10, $SO_2$ y NOx) para el proceso de cocción se realizó por medio de las siguientes formulas, resaltando que para este cálculo fueron realizadas correlaciones matemáticas debido a que para Colombia no existe ningún factor de emisión estandarizado para el caso de los chircales.

$$PM10 = \frac{Emision\ Factor\ Pm\ 10\ EPA}{Emision\ Factor\ Pm\ \ EPA} * Factor\ de\ Emision\ Ministerio\ de\ Ambiente \frac{Kg}{Ton}$$

$$NOx = Emision\ Factor\ NOx * Factor\ de\ Emision\ Ministerio\ de\ Ambiente \frac{Kg}{Ton}$$

$$SO2 = Factor\ de\ Emision\ SO2\ EPA * Factor\ de\ Emision\ Ministerio\ de\ Ambiente \frac{Kg}{Ton}$$

(Piñeros & Rodríguez, 2008)

**Fase 5. Identificación de alternativas de PML.** Tras la determinación de las diferentes problemáticas ecológicas, sociales y económicas reconocidas por medio de las anteriores fases, se procede a la identificación y priorización de las alternativas de producción más limpia que se ajustan apropiadamente a las características de la zona de estudio a través de la siguiente matriz.

| **Alternativas de Reconversión Tecnológica** | **Aspecto(s)** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | **Puntaje** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Técnico** | | | | **Ecológico** | | | | | | **Económico** | | | | | **Social** | | | | |
| | **Estrategias** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Área del Horno | Consumo de Combustible | Tiempo de Producción | Calidad del Producto | Emisiones | Consumo de Agua | Eficiencia Energética | Generación de Residuos | Uso del Suelo | Deforestación | Costo de Inversión | Mano de Obra | Ahorro de Combustible | Capacidad Productiva | Utilidad Anual | Calidad de Vida | Menor exposición | Mejora calidad del aire | Mayores ingresos | |
| **Horno Colmena** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Horno ZigZag** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Horno Hoffman** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Horno Túnel** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**Fase 6. Formulación de Modelos de Reconversión Tecnológica.** Se especifican diferentes tipos de hornos que posean un mayor desarrollo tecnológico dentro de sus características, con el fin de determinar los beneficios y desventajas de su aplicación como estrategia de reconversión tecnológica para el sector el Plan, municipio de Nemocón.

**Fase 7. Diseño de la estrategia de Reconversión Tecnológica.** Con la definición de las estrategias de reconversión tecnológicas aplicables a las características del proyecto se comienza con el diseño por medio de AutoCAD con el objeto de realizar diseños estándar que permitan optimizar los procesos generando beneficios en los aspectos ecológico, económico y social.

**Fase 8. Análisis de Resultados.** Con base en los diferentes resultados obtenidos tras el desarrollo de las diferentes actividades propuestas para el proyecto, se realiza el correspondiente análisis con el fin de verificar el cumplimiento de los objetivos planteados y la viabilidad de aplicación del mismo en nuestra área de estudio.

**Fase 9. Entrega Documento Final.** Se dan a conocer los resultados, análisis, conclusiones y recomendaciones del desarrollo del proyecto, con el propósito de generar un aporte que permita la aplicación de este tipo de proyectos en microempresas con similares características a las estudiadas, para de esta manera optimizar los procesos a través de estrategias planteadas desde la perspectiva ingenieril.

## 7. Plan de Trabajo

| No. | Actividad | Agosto | | | | | Septiembre | | | | Octubre | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Semana | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| **1** | Revisión bibliográfica | | | | | | | | | | | | |
| **2** | Contacto con la Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR) | | | | | | | | | | | | |
| **3** | Visita al área de influencia Directa del Estudio | | | | | | | | | | | | |
| **4** | Diagnóstico y caracterización de la Industria Ladrillera | | | | | | | | | | | | |
| **4.1** | Análisis de datos obtenidos | | | | | | | | | | | | |
| **4.2** | Estimación de las emisiones de gases contaminantes | | | | | | | | | | | | |
| **5** | Identificación de las oportunidades de Producción Más Limpia | | | | | | | | | | | | |
| **5.1** | Determinación de áreas críticas | | | | | | | | | | | | |
| **5.2** | Definición de amenazas, fortalezas, debilidades y oportunidades | | | | | | | | | | | | |
| **5.3** | Selección de alternativas de PML | | | | | | | | | | | | |
| **6** | Diseño de las propuestas con las oportunidades de producción más limpia | | | | | | | | | | | | |
| **6.1** | Planteamiento de modelos de reconversión tecnológica | | | | | | | | | | | | |
| **6.2** | Realización de los diseños estándar de las propuestas de reconversión tecnológica | | | | | | | | | | | | |
| **7** | Desarrollo de conclusiones y recomendaciones | | | | | | | | | | | | |

# 8. Resultados, Análisis y Discusión

## 8.1 Diagnóstico y caracterización de las industrias de producción de ladrillos por métodos artesanales en el sector El Plan, vereda Patio Bonito del municipio de Nemocón – Cundinamarca.

**8.1.1 Encuesta realizada a los empresarios del sector El Plan en el municipio de Nemocón – Cundinamarca dedicados a la producción de ladrillo**. La encuesta fue realizada a 9 microempresarios, los cuales desarrollan el proceso productivo para la elaboración de ladrillos por métodos artesanales, en el municipio de Nemocón. Esta se llevó a cabo en trabajo de campo, a través del diligenciamiento de un cuestionario desarrollado en conjunto con la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) en una de las visitas realizadas al sector el Plan, a continuación, se exponen los resultados recolectados por cada una de las tres secciones que lo componen.

**a) Generalidades y aspectos administrativos.** Para esta sección se definieron las características socioeconómicas de los dueños y trabajadores encargados de realizar las diferentes actividades que componen el proceso productivo para la elaboración de ladrillo, del mismo modo se realizó una caracterización administrativa general de las microempresas que componen el Sector el Plan como se refleja en las siguientes tablas y gráficas.

**Tabla 5. Generalidades del grupo de encuestados**

| Generalidades del grupo de encuestados y empresas del sector el plan | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ID Encuesta** | **Nombre Persona encargada de actividad comercial** | **Nombre persona encuestada** | **Empresa** | **Escolaridad** | **Sistema de Seguridad Social** | **Título de la propiedad** | **Estrato** | **Coordenadas** |
| **1** | Gilberto Silva | Gilberto Silva | Despensa 2 | Primaria | Si | Poseedor | 1 | West: 73°53'49"<br>North: 5°06'58"<br>Altitud: 2623 m.s.n.m |

Tabla 5 (continua)

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2** | **Exehomo Parra** | **Exehomo Parra** | **Despensa 7 y 8 El Manzano** | **Primaria** | **Si** | **Propietario** | **1** | **West: 73°53'49"**<br>North: 5°06'58"<br>Altitud: 2624 m.s.n.m |
| **3** | Santiago Gómez | Santiago Gómez | Despensa 3 | Primaria | Si | Poseedor | 2 | West: 73°53'50"<br>North: 5°06'57"<br>Altitud: 2627 m.s.n.m |
| **4** | Emilio Sánchez | Luis Enrique Gómez | Despensa 6 | Bachillerato | Si | Propietario | 2 | West: 73°53'53"<br>North: 5°07'00"<br>Altitud: 2607 m.s.n.m |
| **5** | Bernardo Gómez | José Samuel Gómez | Laurel | Primaria | Si | Propietario | 2 | West: 73°53'54"<br>North: 5°07'05"<br>Altitud: 2637 m.s.n.m |
| **6** | Prospero Gómez | Carlos Andrés Pelayo | Despensa x | Bachillerato | Si | Propietario | 2 | West: 73°53'55"<br>North: 5°07'06"<br>Altitud: 2636 m.s.n.m |
| **7** | Álvaro Duarte | Álvaro Duarte | Rústicos La Esperanza | Bachillerato | Si | Propietario | 2 | West: 73°53'53"<br>North: 5°07'00"<br>Altitud: 2608 m.s.n.m |
| **8** | Humberto Castillo | Humberto Castillo | La Primavera | Bachillerato | Si | Propietario | 2 | West: 73°53'57"<br>North: 5°07'09"<br>Altitud: 2637 m.s.n.m |
| **9** | José Alirio Martínez | Wilson Ariel Pelayo | Orquídeas | Primaria | Si | Propietario | 2 | West: 73°53'55"<br>North: 5°07'08"<br>Altitud: 2507 m.s.n.m |

Nota: Elaborada por los Autores

Las microempresas que conforman el Sector El Plan comenzaron sus actividades en esta región del país ya hace un tiempo considerable continuando con las tradiciones familiares inculcadas con el paso de los años (Figura 7).

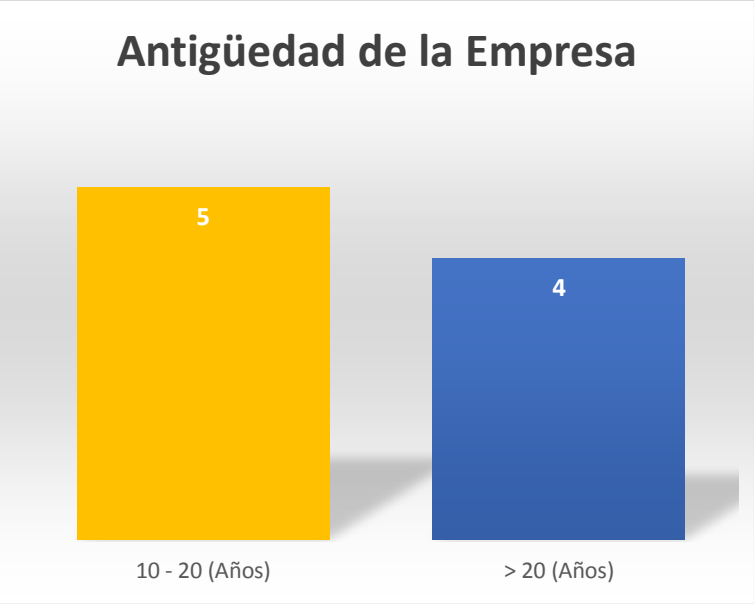



*Figura 7.* **Rango de Antigüedad de la empresa.** Elaborada por los Autores

En la figura 8 se establece un aspecto social como lo es el nivel de escolaridad que tienen las personas encuestadas, quienes solo han recibido educación básica y secundaria debido a las dificultades económicas para ingresar a la educación superior.

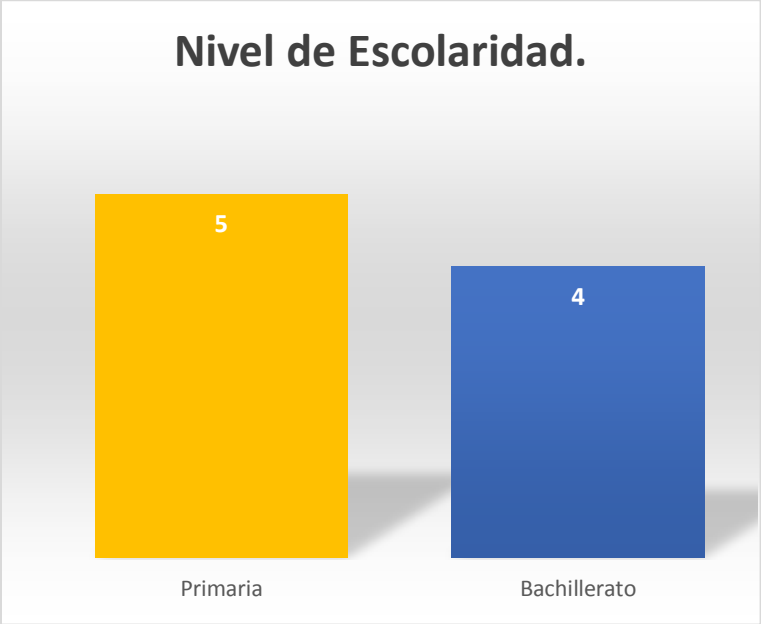



*Figura 8.* **Nivel de escolaridad de las personas encuestadas.** Elaborada por los Autores

Debido a las características de esta actividad productiva, predomina la presencia de hombres dentro del Sector con 57 empleados (Tabla 6) los cuales representan un 93% (Figura 9) mientras que las 4 mujeres que trabajan allí se encuentran en la zona de moldeo de las piezas.

**Tabla 6. Número de Trabajadores**

| Número de Trabajadores | | |
|---|---|---|
| **Mujeres** | **Hombres** | **Total** |
| 4 | 57 | 61 |

Nota: Elaborada por los Autores

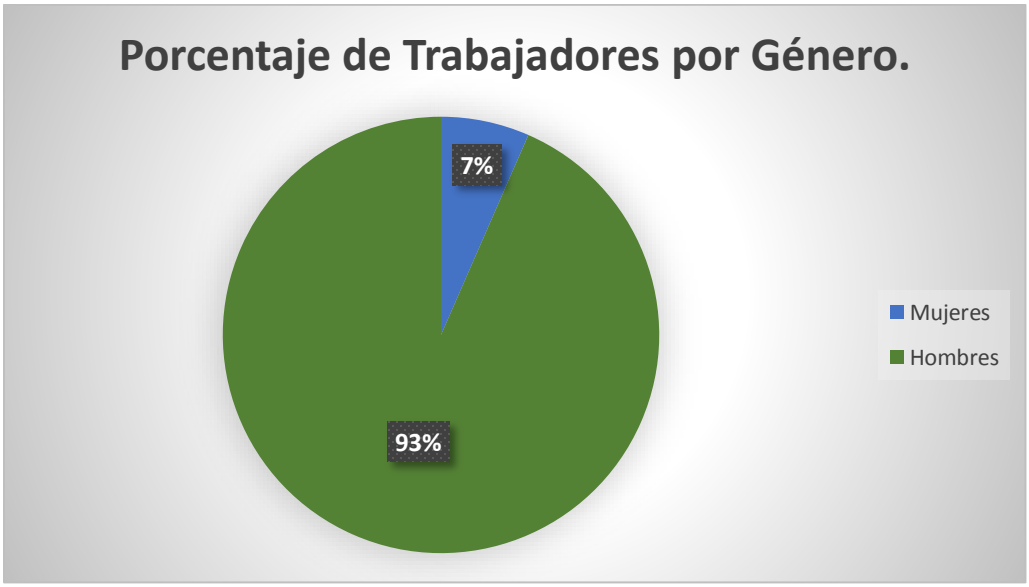



*Figura 9*. **Valor porcentual de los trabajadores directos según género.** Elaborada por los Autores

La actividad que requiere de mayor cantidad de tiempo es la maduración de la arcilla con un estimado de 34 días y la que menos necesita es el moldeo y extrusión con 6 días (Figura 10).

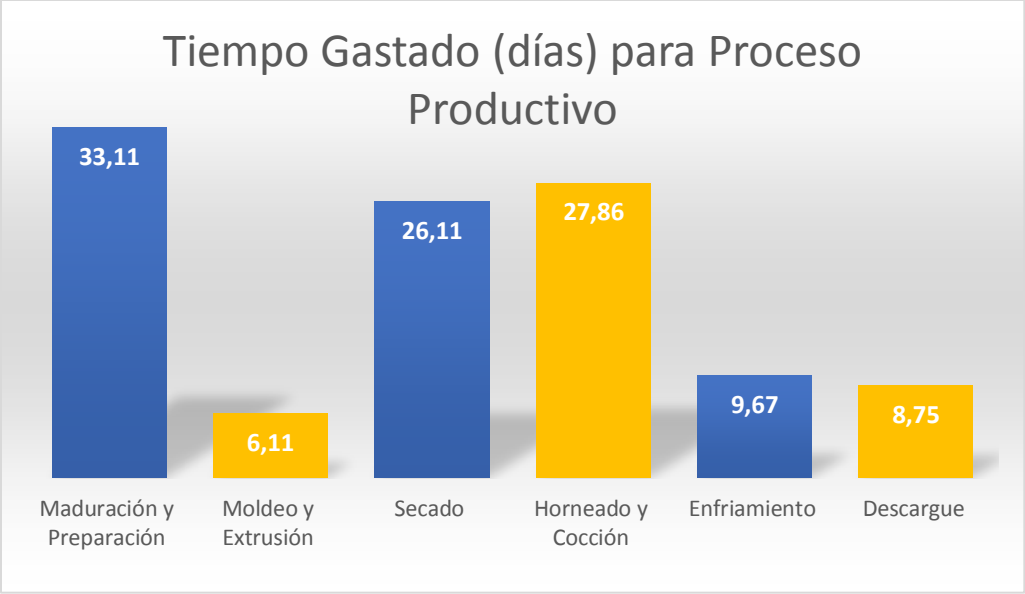



*Figura 10.* **Promedio del tiempo gastado por actividad del proceso productivo.** Elaborada por los Autores

Con base en estos resultados se puede definir que el sector el plan está conformado en su totalidad por empresas que tienen una experiencia considerable (Figura 7) en lo que respecta a la elaboración de ladrillos por métodos artesanales y teniendo en cuenta lo manifestado por los encuestados, es posible inferir que esta actividad es el sustento económico tanto para los propietarios de las microempresas como para sus trabajadores y familias ya que no realizan una práctica diferente para la generación de recursos monetarios. Igualmente, el nivel de escolaridad de los encuestados pertenece a un nivel básico y secundario (Figura 8) sin ningún acceso a algún tipo de educación superior, además de esto es un sector compuesto en su mayoría por hombres (Tabla 6) debido a las características que tiene el desarrollo de las diferentes actividades.

Asimismo, cabe resaltar que los estratos socioeconómicos en los que se clasifican estos predios están divididos entre 1 y 2 (Tabla 5) por lo cual se encuentran catalogados entre bajo-bajo y bajo según lo especificado por el DANE (DANE, 2018). Teniendo en cuenta esto se deduce que la capacidad económica y las condiciones de vida de estas personas no son las mejores, debido a que el incremento neto de la empresa es bastante reducido haciendo que las ganancias a nivel monetario apenas compensen las necesidades básicas de quienes dependen de esta actividad.

Para finalizar con los aspectos generales del proceso productivo se halló que las actividades realizadas en estas ladrilleras son las que se aplican generalmente en un proceso de elaboración

de ladrillo por métodos artesanales, ya que según manual de gestión ambiental para el sector ladrillero citado en el marco conceptual las industrias ladrilleras del tipo extractivo-transformador como es el caso de todas las microempresas analizadas presentan las actividades especificadas en la Figura 10.

Por otra parte, se obtuvo que la actividad que más demanda tiempo es la de maduración y preparación, en la cual se humedece la arcilla y se espera a que esta adquiera la textura esperada; mientras que para la que menos se requiere es la de moldeo y extrusión en la cual se hace uso de una maquina extrusora que es operada por aproximadamente 4 trabajadores. Sin embargo es preciso señalar que existe otra actividad que aunque no está especificada en la Figura 10 requiere un tiempo de tan solo 2 horas en promedio para su desarrollo, esta es la extracción, para la que se hace uso de una retroexcavadora y se toma en su totalidad del mismo predio en el que se encuentra las empresas. Por otro lado fue posible inferir que todo el proceso productivo requiere un aproximado de 60 días según lo especificado por los encuestados, ya que existen tareas que se realizan simultáneamente dependiendo del desarrollo en el que se van dando las actividades como se puede observar en la línea de tiempo representada por la Figura 11 la que demuestra como los procesos de maduración, preparación, secado, horneado y cocción son simultáneos a pesar de tener un tiempo por actividad diferente, debido a que mientas la arcilla se prepara, hay ladrillos que se encuentran secándose y otros en cocción aclarando que para estos ya se obtuvo previamente una arcilla diferente a la que se encuentra en preparación, con el fin de acelerar los tiempos para la obtención del producto final.

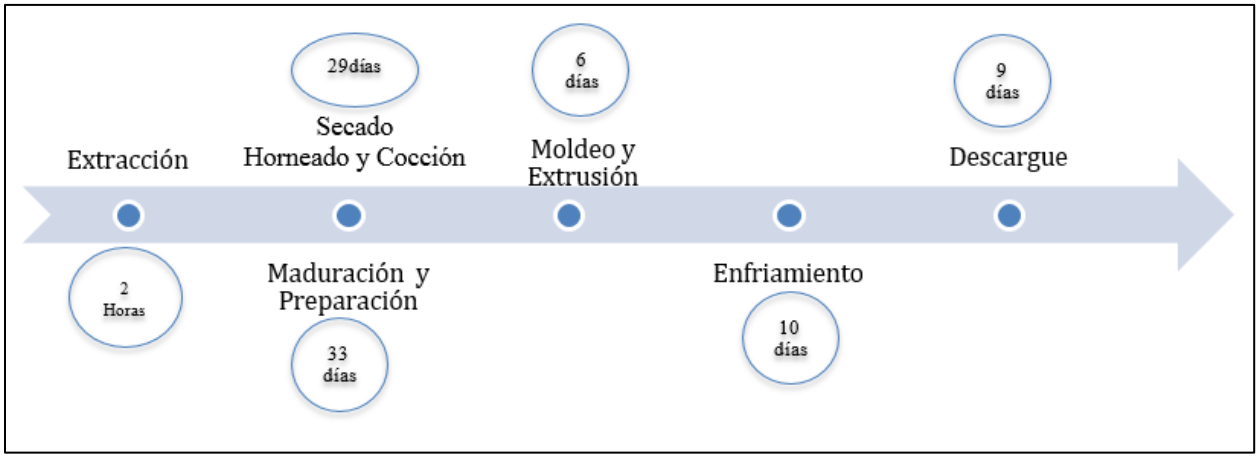



*Figura 11.***Proceso.** Elaborada por los Autores

**b) Características técnicas y productivas**. Para esta sección de la encuesta se definieron las características más sobresalientes en cuanto a los hornos utilizados para la elaboración de ladrillos teniendo en cuenta la cantidad, el tipo y cantidad de combustible y las fallas que se presentan con mayor frecuencia en los mismos. De igual modo se logró identificar el conocimiento por parte de los ladrilleros sobre buenas prácticas y su intención en algún tipo de reconversión tecnológica para su proceso productivo que permita optimizar el mismo.

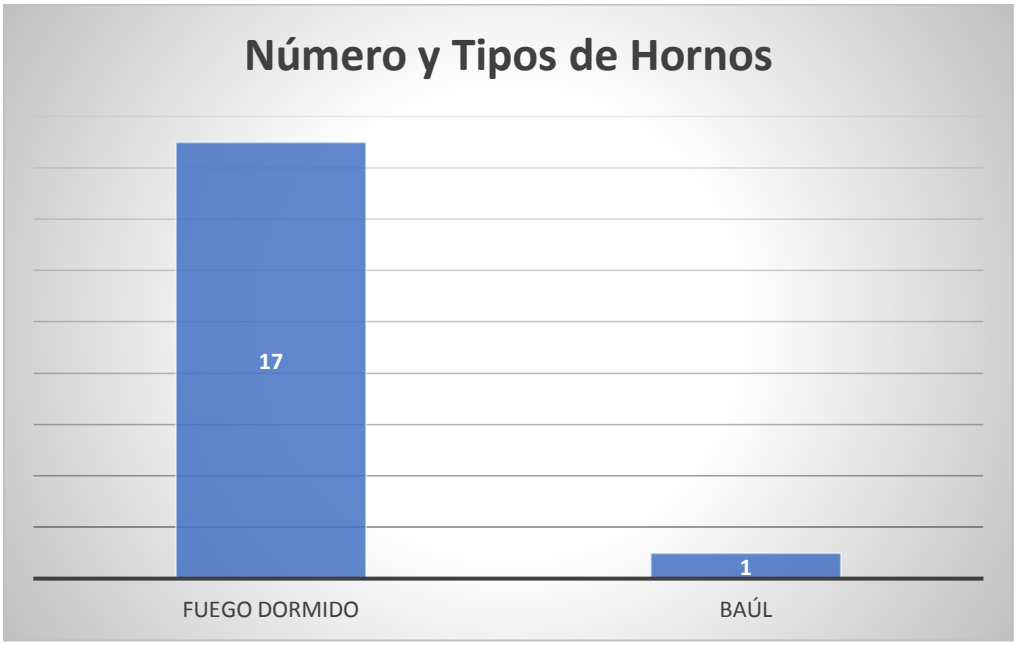



*Figura 12.* **Número y tipos de hornos de las nueve microempresas evaluadas para el sector el Plan.** Elaborada por los Autores

Las características obtenidas de los hornos que se encuentran en el sector arrojaron que estos son 100% artesanales, con una cantidad total de 18 hornos de los que 17 son tipo fuego dormido y 1 tipo Baúl, este último se encarga únicamente de producción de tejas por lo que maneja tiempos diferentes para la elaboración de las mismas (Figura 12). Asimismo se determinó la antigüedad de los hornos, los que en su mayoría se encuentran en el rango de 10-20 años.

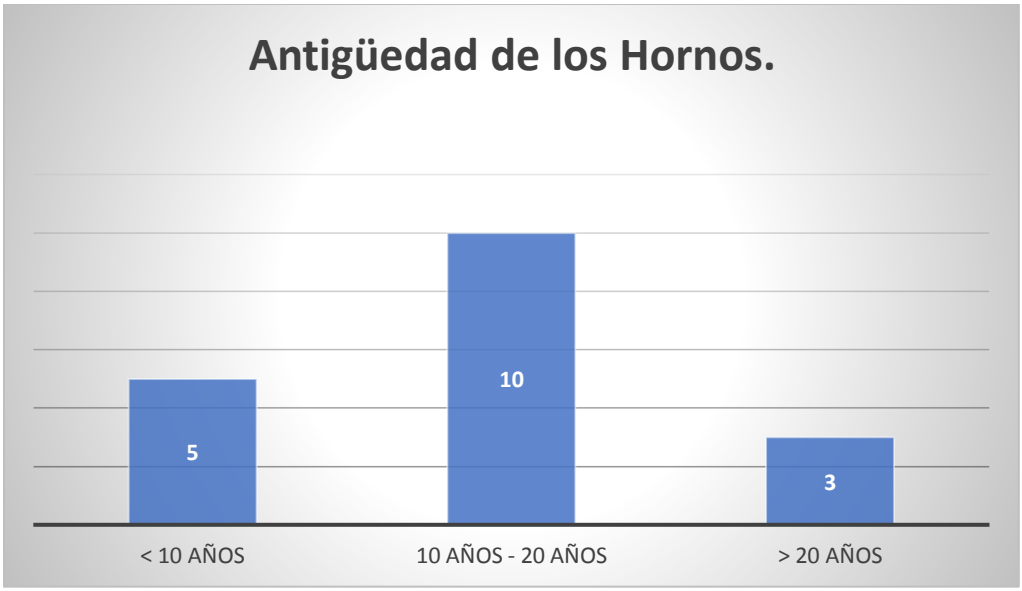



*Figura 13.* **Número y Antigüedad de los hornos.** Elaborada por los Autores

A continuación se muestran las principales características de los hornos artesanales observados en la visita de campo, los cuales requieren de una alimentación manual del combustible y no cuentan con ningún tipo de medición de temperatura que permita establecer con exactitud a cuantos grados centígrados se desarrolla el proceso de cocción.

**Tabla 7. Características generales de los hornos**

| Características generales de los hornos | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Área Aproximada ($m^2$)** | **Altura Aproximada (m)** | **Tipo de Alimentación de Combustible** | **Medición de Temperatura** | **Reconversión Tecnológica** |
| 15 | 4.5 | Manual | No | Ninguna |

Nota: Elaborada por los Autores

Ya en cuanto a la información productiva se estimó una producción de **4.590.000 piezas de ladrillos** anuales por todo el sector el plan, las cuales no son de muy buena calidad por lo que su costo en el mercado de aproximadamente $200 no es significativo (Tabla 8).

**Tabla 8. Información del proceso de horneado anual**

| Información del proceso de horneado anual | | |
|---|---|---|
| **Número de Piezas Horneadas/Quema** | **Total piezas Horneadas/Año** | **Peso Total Piezas Horneadas (Kg)** |
| 765.000 | 4’590.000 | 11’475.000 |

Nota: Elaborada por los Autores

Los datos promedio se calcularon con el fin de obtener los valores aproximados en los que se desarrollaría el proceso productivo de un solo horno (Tabla 9).

**Tabla 9. Información del proceso de horneado (promedio)**

| Información del proceso de horneado (promedio) | | |
|---|---|---|
| **Número de Piezas Horneadas/Horno** | **Peso de las Piezas (Kg)** | **Numero de Horneadas al Año** |
| 45.000 | 2,2 | 6,11 |

Nota: Elaborada por los Autores

Según lo manifestado por los encuestados se identificaron una serie de problemáticas que se presentan en el desarrollo del proceso las cuales generan retrasos durante el desarrollo de las actividades reduciendo de esta manera la eficiencia dentro del mismo (Figura 14).

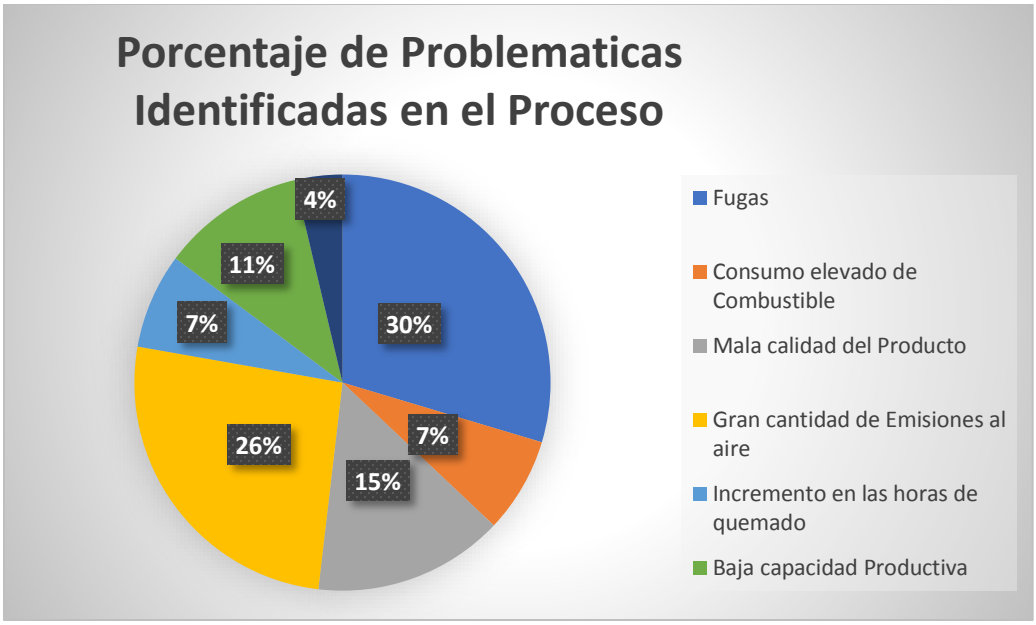



*Figura 14.* **Problemáticas Identificadas en el proceso productivo.** Elaborada por los Autores

El mantenimiento de los hornos es mayormente correctivo con un 78%, lo que se convierte en otro aporte negativo dentro del desarrollo del proceso, ya que al momento que se requiere el mismo, los hornos deben dejar de funcionar un tiempo determinado por los daños que se causan dentro de estos (Figura 15).

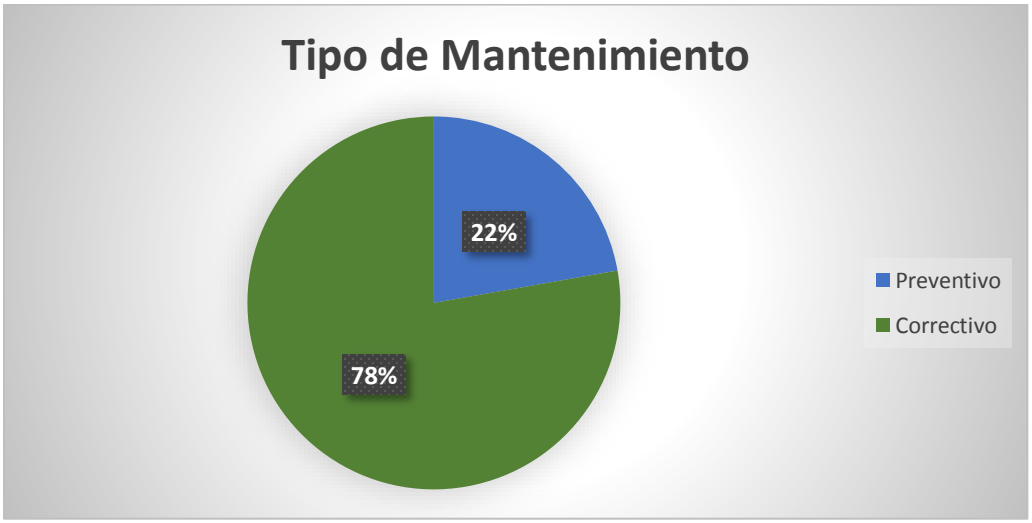



*Figura 15.* **Porcentaje del tipo de mantenimiento que se le realizan a los hornos.** Elaborada por los Autores

Las características del mantenimiento principalmente correctivo están representadas por un valor monetario de $1.638.888 que se debe efectuar aproximadamente cada 8 meses, por esta razón sería fundamental implementar medidas correctivas que reduzcan la cantidad y magnitud de los daños en el proceso productivo (Tabla 10).

**Tabla 10. Características del mantenimiento**

| Características del Mantenimiento | |
|---|---|
| **Frecuencia** | **Valor Económico / Mantenimiento (COP)** |
| 8 Meses | $ 1.638.888 |

Nota: Elaborada por los Autores

En un porcentaje mayor en algún momento los hornos han estado fuera de servicio por daños que no permiten realizar la actividad con normalidad afectando el proceso productivo (Figura 16).

*Figura 16.* **Cantidad porcentual de hornos fuera de servicio.** Elaborada por los Autores

De acuerdo con las diversas dificultades que se presentan en el funcionamiento del horno la mayoría de los encuestados manifestó su intención de cambiar el horno (Figura 17) y de realizar un proceso de reconversión tecnológica (Figura 18).

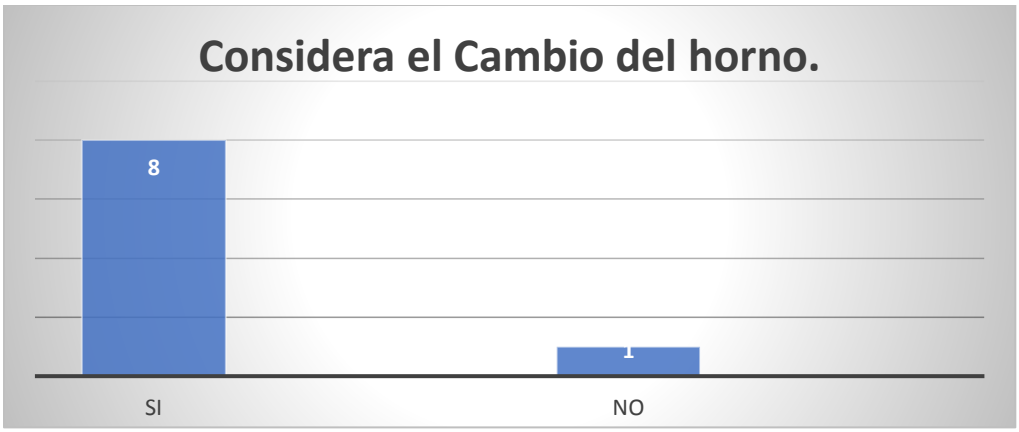



*Figura 17.* **Empresarios Interesados en una reconversión Tecnológica para las ladrilleras.** Elaborada por los Autores

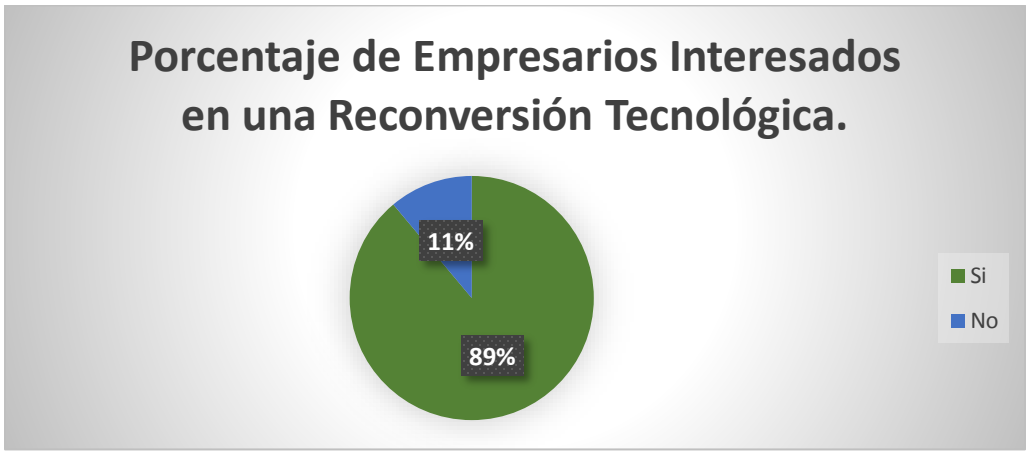



*Figura 18.* **Porcentaje de empresarios Interesados en algún tipo de reconversión tecnológica para las ladrilleras.** Elaborada por los Autores

El horno túnel es del que se tiene mayor conocimiento por parte de los microempresarios encuestados, por lo que también es el que desearían implementar ellos dentro del proceso productivo que se desarrolla en el área de estudio con el objeto de mantener o aumentar la producción de ladrillos (Tabla 11).

**Tabla 11. Características del horno para reconversión tecnológica**

| Características Del Horno Para Reconversión Tecnológica | | |
|---|---|---|
| **Tipo** | **Combustible** | **Capacidad** |
| Túnel | Carbón | Mantener Igual o Aumentar la Producción |

Nota: Elaborada por los Autores

Con base a la caracterización de los hornos se obtuvo que en el Sector el Plan hay 18 hornos de los cuales 17 son tipo fuego dormido como se observa en la Figura 12 esto quiere decir que según el inventario nacional ladrillero realizado por CAEM (Corporación Ambiental Empresarial, 2015) estos pertenecen a la clasificación industrial de unidades productivas artesanales, que tienen un nivel tecnológico de producción manual, por lo que solo usan como combustible el carbón debido a los altos costos que tiene la producción empleando gas natural. Además de esto los hornos tienen una antigüedad en su mayoría de entre los 10 años a los 20 años ocupando un área de aproximadamente 15 $m^2$ con una altura de 4.5 metros (Figura 13, Tabla 7) y basan su producción en la fabricación de ladrillo a pesar de que el horno tipo baúl es empleado solo para la elaboración de tejas, razón por la que los tiempos del proceso productivo son totalmente diferentes.

En otro orden de ideas se logró estipular que el sector El Plan produce **765.000 piezas/Quema** y **4.590.000 piezas de ladrillos anualmente** (Tabla 8) con un porcentaje medianamente bajo de piezas quebradas o que no tengan la cocción necesaria para su distribución, sin embargo las problemáticas que se presentan para el desarrollo del proceso productivo caracterizadas principalmente por fugas y emisiones de grandes cantidades de gases al ambiente (Figura 14) hacen que sea una actividades con bastantes problemáticas en los niveles ecológico y socioeconómico.

Lo anterior se resalta en el tiempo que los hornos pueden durar fuera de servicio, el cual se estima en 25 días dependiendo del daño que pueda tener este, además del costo que tiene el mantenimiento (Tabla 10) que en su mayoría es de carácter correctivo (Figura 15) puesto que los industriales no tienen un conocimiento claro de las acciones que se pueden tomar para prevenir el daño de los hornos y posterior estancamiento del proceso productivo. Es por esta razón que se identificó una motivación significativa por parte de la población encuestada en realizar la reconversión o modificación de los hornos (Figura 17 y 18) con el objeto principal de reducir sus impactos ambientales negativos y mejorar su calidad de vida, con una optimización en el proceso que les permita aumentar la producción de ladrillos, con una mejor calidad, lo que les dará la oportunidad de acceder a nuevos mercados que generen ingresos económicos más altos dándoles mayor estabilidad y oportunidades de crecimiento.

Para concluir con esta sección de la encuesta es posible determinar que a pesar de que el sector el Plan es una porción mínima de todas la actividades para la elaboración de ladrillo

realizadas en el municipio de Nemocón posee unas características técnicas y productivas que se asemejan a la mayoría de procesos que se desarrollan no solo en el municipio sino en el departamento de Cundinamarca, teniendo en cuenta que como se manifiesta en un proyecto realizado por EELA en dicho departamento, predomina la existencia de chircales con hornos a fuego dormido de baja producción de piezas de ladrillo y altos tiempos para el desarrollo de todo el proceso productivo (CAMPO, 2015) razón por la cual aumentaran los costos de producción y la ineficiencia del proceso a través del tiempo en la medida que no se realicen intervenciones que permitan establecer la aplicación de buenas prácticas y mejoras dentro del proceso, como las que buscan los microempresarios del sector con la propuesta de la construcción de un horno tipo túnel (Tabla 11).

a) ***Información Ambiental y Energética***.

Las características del combustible (Tabla 12) son de suma importancia para el desarrollo del este proyecto ya que con estos es posible determinar la generación de emisiones por medio del uso de factores de emisión y establecer una parte de la cantidad de residuos sólidos que se producen.

**Tabla 12. Características del combustible usado para la cocción**

| Características del combustible usado para la cocción | | |
|---|---|---|
| **Fuente de Energía** | **Promedio Consumo de Combustible (Ton)** | **Promedio Costo Combustible/Quema (COP)** |
| Carbón | 11,56 | $ 2.253.333 |

Nota: Elaborada por los Autores

**Tabla 13. Disposición final por residuo**

| Disposición final por residuo | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **ID** | **Ceniza** | **Chamote o Chamota** | **Plásticos** | **Cartón** | **Material No Conforme** |
| **1** | Comercialización | Reutilización | Acopio | Acopio | Acopio |
| **2** | Comercialización | Acopio | Acopio | Acopio | Acopio |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **3** | Reutilización | Reutilización | Reutilización | Acopio | Reutilización |
| **4** | Reutilización | Reutilización | Quema | No responde | No responde |
| **5** | Comercialización | Reutilización | Reutilización | Reutilización | Reutilización |
| **6** | Acopio | Acopio | Acopio | Acopio | Acopio |
| **7** | Comercialización | Acopio | Acopio | Acopio | Acopio |
| **8** | Relleno Sanitario | Relleno Sanitario | Reutilización | No responde | Relleno Sanitario |
| **9** | Relleno Sanitario | Relleno Sanitario | Quema | No responde | Relleno Sanitario |

Nota: Elaborada por los Autores

Referente a la disposición de los residuos sólidos, se observó que el único residuo que se comercializa es la ceniza, la que se vende principalmente a las cementeras cercanas al sector, quienes la utilizan para realizar su respectivo proceso productivo, también fue posible inferir que el chamote que es un residuo directo del ladrillo, es reutilizado para hacer actividades de relleno en las vías internas del chircal.

Por otro lado, las quemas de plásticos que se llevan a cabo según lo manifestado por los empresarios es una actividad requieren especial atención ya que esta es una actividad que según normativa colombiana no está permitida, debido a que no se cuenta con las medidas de seguridad necesarias y tampoco se tiene una autorización o permiso de alguna autoridad competente para realizar esta práctica, por estas razones es recomendable que se renuncie a la realización de esta actividad.

**Tabla 14. Requerimientos ambientales para los microempresarios del sector el plan**

| Requerimientos ambientales para los microempresarios del sector el plan |
|---|
| Tecnificar el Proceso Productivo |
| Implementar Plan de Manejo Ambiental |
| Señalización |
| Implementar puntos Ecológicos para disposición de Residuos |
| Realizar actividades de Reforestación |

Nota: Elaborada por los Autores

Los requerimientos ambientales más frecuentes realizados por las Autoridades Ambientales son sobre la tecnificación del proceso productivo y la realización de actividades de reforestación

(Tabla 14) ya que el impacto ambiental generado por la extracción también es significativo. Además de esto un 78% de las empresas (Figura 19) han sido objeto de este tipo de requerimientos, los cuales pueden generar algún tipo de sanción por el incumplimiento de estas obligaciones.

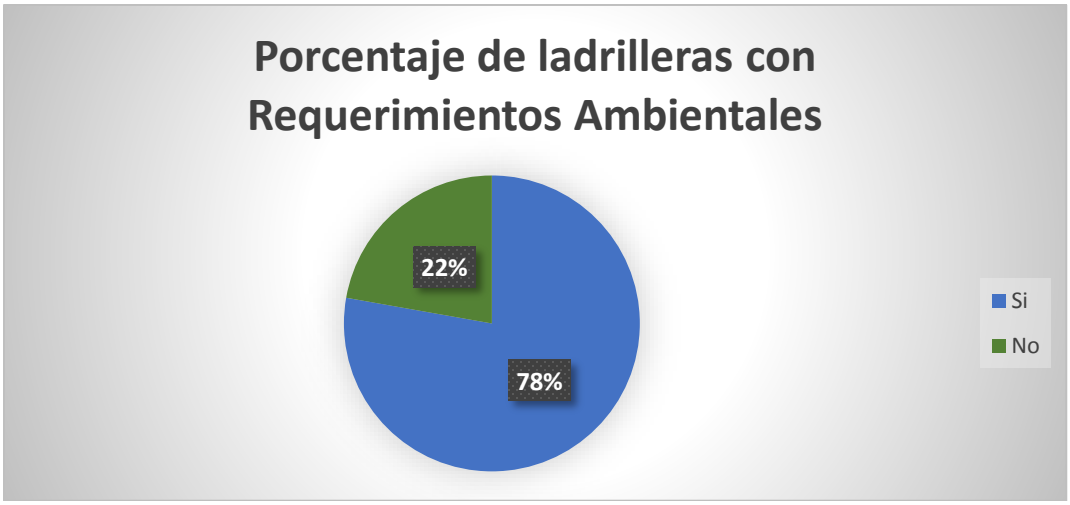



*Figura 19.* **Empresas que han tenido algún requerimiento por parte de las Autoridades Ambientales.** Elaborada por los Autores

Teniendo en cuenta que este es un proceso artesanal, se obtuvo que ninguno de los hornos presentes en el sector el Plan cuenta con un sistema de control de emisiones (Figura 20), asimismo esto genera una fuerte problemática también para las Autoridades Ambientales ya que los Monitoreos para este tipo de tecnologías es sumamente complejo.

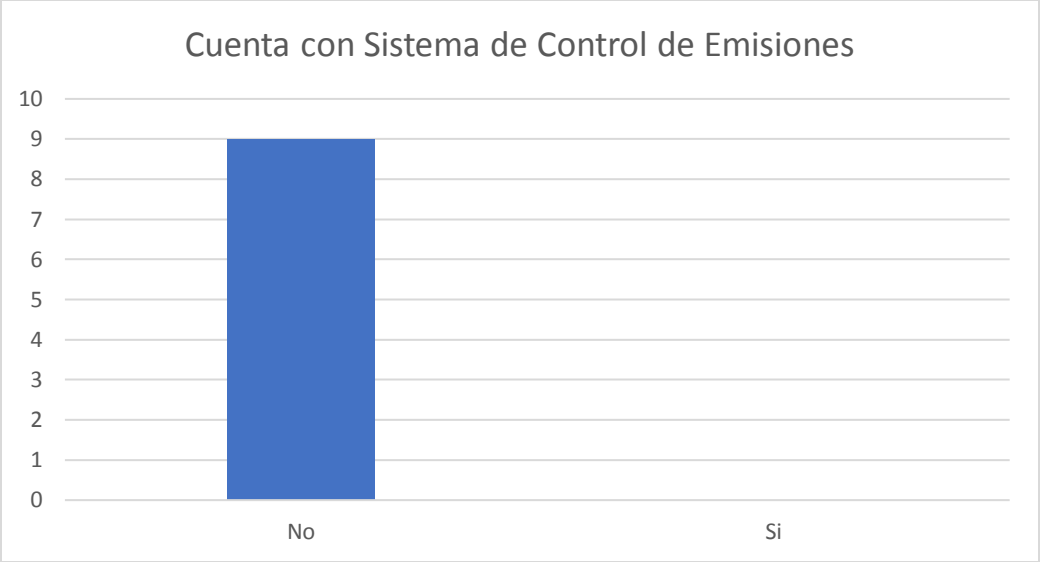



*Figura 20.* **Empresas que cuentan con algún tipo de sistema de control de emisiones.** Elaborada por los Autores

Esta última fase de la encuesta se centró en la identificación de dos aspectos fundamentales. Primero, la fuente energética principal que para el caso de los hornos presentes en el sector el Plan es el carbón, del que se requieren de 11 a 12 toneladas para realizar el proceso de cocción por lote de producción, lo cual es una cantidad considerable si se tiene en cuenta que el costo de este es aproximadamente de $2.500.000COP para la cantidad de carbón ya mencionada y que la suma de piezas en óptimas condiciones que se obtienen no representan un ingreso económico significativo ($200/Unidad) según lo manifestado por los encuestados, por lo que esto es un problema considerable si se tiene en cuenta que este es su único sustento monetario.

Del mismo modo se consiguieron definir los diferentes requerimientos que han realizado las Autoridades Ambientales, quienes manifiestan la intención principal de solicitar a los empresarios una tecnificación del proceso productivo (Tabla 14) motivada principalmente por la incapacidad que se tiene de realizar una medición directa de los gases contaminantes de los hornos presentes en el sector, los cuales no cuentan con ningún tipo de sistema de control de emisiones como se manifiesta en la Figura 20.

Además de lo anterior, la aplicación de la encuesta concedió la oportunidad de identificar el manejo que se da a los residuos sólidos generados en el proceso, estos están divididos según las categorías mostradas en la Tabla 13. Del mismo modo la citada tabla establece la disposición que se tiene para cada tipo de residuo, de lo que sobresale la comercialización referente a ceniza y escombros los cuales son vendidos en su mayoría a empresas cementeras que requieren de los

mismos para la elaboración de cemento y el acopio que se da de los demás residuos para ser entregados una vez por semana al carro recolector quien es el encargado de la disposición final de los mismos, igualmente cabe resaltar que aunque la cantidad de residuos sólidos no es significativa estos no tienen un almacenamiento ni manejo adecuado por parte de los empresarios razón por la cual se produce un impacto ambiental negativo.

**8.1.2 Cuantificación de las emisiones de gases contaminantes (Pm, SO2, NOx) producidas por las ladrillas ubicadas en el Sector el Plan.** A fin de cuantificar la producción de los gases contaminantes PM10, NOx y $SO_2$ en los chircales presentes en el sector el Plan y teniendo en cuenta que en el alcance de este proyecto se estableció hacer uso de información secundaria brindada directamente de los constantes contactos con la CAR y CAEM debido a que existieron impedimentos técnicos de contar con equipos que realizaran la medición directa.

Por esta razón se tuvieron en cuenta dos factores de emisión, los cuales fueron planteados por el Ministerio de Ambiente y por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) en el AP – 42 sección 11.3 debido a que estos se ajustaban al proceso artesanal para la elaboración de ladrillo en la zona de estudio.

Los valores descritos en la Tabla 15 evidencian el uso de los factores de emisión planteados por la EPA conexos a la producción de ladrillo sin ningún tipo de sistema de control como es el caso del proceso productivo realizado en el sector el Plan. Asimismo se muestra el otro tipo de factores de emisión, los cuales pertenecen a una hoja de cálculo desarrollada por el Ministerio de Ambiente (Piñeros & Rodríguez, 2008) para hornos artesanales que para el caso de esta investigación corresponde a los hornos de fuego dormido observados en el Sector el Plan.

**Tabla 15. Factores de emisión**

| Contaminante | PM | PM10 | NOx | SO2 |
|---|---|---|---|---|
| **Factor de Emisión EPA** | 1,8 | 1,4 | 0,51 | 1,20 |
| **Factor de Emisión Ministerio de Ambiente** | - | 32,04 | 8,37 | 14,68 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Calculo Factor Emisión** | - | 24,92 | 4,27 | 17,616 |

Nota: Elaborada por los Autores

A continuación, se establece el cálculo de las emisiones de los gases anteriormente citados según los datos obtenidos del consumo de combustible en el proceso productivo para elaboración de ladrillo del sector el Plan, dicha cuantificación está determinada en las unidades de *Kg Contaminante/ Mes* y *Kg Contaminante/ año*.

Igualmente es de resaltar que esta metodología de cálculo fue tomada de un trabajo de grado para la evaluación de la calidad del aire en Nemocón el cual se desarrolló con el acompañamiento de la Corporación Autónoma de Cundinamarca. La mencionada metodología se basa en una correlación matemática entre los factores de emisión planteados por el ministerio de ambiente y la EPA con el fin de determinar las fracciones de cada uno de los contaminantes lo cual se observa en las siguientes fórmulas (Piñeros & Rodríguez, 2008).

$$Factor\ de\ Emisión\ PM10 = \frac{FE\ EPA\ PM10}{FE\ EPA\ PM} * FE\ M.Ambiente$$ (Piñeros & Rodríguez, 2008)

$$Factor\ de\ Emisión\ Pm10 = \frac{1{,}4}{1{,}8} * 32{,}04$$

$$Factor\ de\ Emisión\ Pm10 = 24{,}92$$

$$Factor\ de\ Emisión\ NOx = FE\ EPA\ NOx * FE\ M.Ambiente\ NOx$$
(Piñeros & Rodríguez, 2008)

$$Factor\ de\ Emisión\ NOx = 0{,}51 * 8{,}37$$

$$Factor\ de\ Emisión\ NOx = 4{,}27$$

$$Factor\ de\ Emisión\ \mathrm{SO2} = FE\ EPA\ SO2 * FE\ M.Ambiente\ SO2$$
(Piñeros & Rodríguez, 2008)

$$Factor\ de\ Emisión\ \mathrm{SO2} = 1{,}20 * 14{,}68$$

$$Factor\ de\ Emisión\ \mathrm{SO2} = 17{,}616$$

**Tabla 16. Factor de Emisión Pm10**

| ID Encuesta | Codificación Horno | Consumo de Carbón Ton/Quema | Numero de Quemas/Año | Consumo de Carbón Ton/Año | Factor de Emisión (Kg PM10/Ton Consumida de Carbón) | Emisión PM10 (Kg/Año) | Emisión PM10 (Kg/Quema) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 01 | 18 | 5 | 90 | 24,92 | 2242,8 | 448,56 |
| | 02 | 18 | 5 | 90 | 24,92 | 2242,8 | 448,56 |
| | 03 | 18 | 5 | 90 | 24,92 | 2242,8 | 448,56 |
| **2** | 04 | 10 | 5 | 50 | 24,92 | 1246 | 249,2 |
| | 05 | 10 | 5 | 50 | 24,92 | 1246 | 249,2 |
| | 06 | 10 | 5 | 50 | 24,92 | 1246 | 249,2 |
| **3** | 07 | 12 | 6 | 72 | 24,92 | 1794,24 | 299,04 |
| **4** | 08 | 22 | 4 | 88 | 24,92 | 2192,96 | 548,24 |
| **5** | 09 | 5 | 6 | 30 | 24,92 | 747,6 | 124,6 |
| | 10 | 5 | 6 | 30 | 24,92 | 747,6 | 124,6 |
| | 11 | 5 | 6 | 30 | 24,92 | 747,6 | 124,6 |
| **6** | 12 | 10 | 6 | 60 | 24,92 | 1495,2 | 249,2 |
| | 13 | 10 | 6 | 60 | 24,92 | 1495,2 | 249,2 |
| **7** | 15 | 14 | 7 | 98 | 24,92 | 2442,16 | 348,88 |
| | 16 | 14 | 7 | 98 | 24,92 | 2442,16 | 348,88 |
| **8** | 17 | 12 | 4 | 48 | 24,92 | 1196,16 | 299,04 |
| | 18 | 12 | 4 | 48 | 24,92 | 1196,16 | 299,04 |
| **Total Emisiones** | | | | | | **26963,44** | **5108,6** |

Nota: Elaborada por los Autores

**Tabla 17. Factor de Emisión NOx**

| ID Encuesta | Codificación Horno | Consumo de Carbón Ton/Quema | Numero de (Quemas/Año) | Consumo de Carbón Ton/Año | Factor de Emisión (Kg NOx/ Ton Consumida de Carbón) | Emisión NOx (Kg/Año) | Emisión NOx (Kg/Quema) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 01 | 18 | 5 | 90 | 4,27 | 384,3 | 76,86 |
| | 02 | 18 | 5 | 90 | 4,27 | 384,3 | 76,86 |
| | 03 | 18 | 5 | 90 | 4,27 | 384,3 | 76,86 |
| **2** | 04 | 10 | 5 | 50 | 4,27 | 213,5 | 42,7 |
| | 05 | 10 | 5 | 50 | 4,27 | 213,5 | 42,7 |
| | 06 | 10 | 5 | 50 | 4,27 | 213,5 | 42,7 |
| **3** | 07 | 12 | 6 | 72 | 4,27 | 307,44 | 51,24 |
| **4** | 08 | 22 | 4 | 88 | 4,27 | 375,76 | 93,94 |
| **5** | 09 | 5 | 6 | 30 | 4,27 | 128,1 | 21,35 |
| | 10 | 5 | 6 | 30 | 4,27 | 128,1 | 21,35 |
| | 11 | 5 | 6 | 30 | 4,27 | 128,1 | 21,35 |
| **6** | 12 | 10 | 6 | 60 | 4,27 | 256,2 | 42,7 |
| | 13 | 10 | 6 | 60 | 4,27 | 256,2 | 42,7 |
| **7** | 15 | 14 | 7 | 98 | 4,27 | 418,46 | 59,78 |
| | 16 | 14 | 7 | 98 | 4,27 | 418,46 | 59,78 |
| **8** | 17 | 12 | 4 | 48 | 4,27 | 204,96 | 51,24 |
| | 18 | 12 | 4 | 48 | 4,27 | 204,96 | 51,24 |
| **Total Emisiones** | | | | | | **4620,14** | **875,35** |

Nota: Elaborada por los Autores

**Tabla 18. Factor de Emisión SO2**

| ID Encuesta | Codificación Horno | Consumo de Carbón Ton/Quema | Numero de Quemas/Año | Consumo de Carbón Ton/Año | Factor de Emisión (Kg $SO_2$/ Ton Consumida de Carbón) | Emisión $SO_2$ (Kg/Año) | Emisión $SO_2$ (Kg/Quema) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 01 | 18 | 5 | 90 | 17,616 | 1585,8 | 317,16 |
| | 02 | 18 | 5 | 90 | 17,616 | 1585,8 | 317,16 |
| | 03 | 18 | 5 | 90 | 17,616 | 1585,8 | 317,16 |
| **2** | 04 | 10 | 5 | 50 | 17,616 | 881 | 176,2 |
| | 05 | 10 | 5 | 50 | 17,616 | 881 | 176,2 |
| | 06 | 10 | 5 | 50 | 17,616 | 881 | 176,2 |
| **3** | 07 | 12 | 6 | 72 | 17,616 | 1268,64 | 211,44 |
| **4** | 08 | 22 | 4 | 88 | 17,616 | 1550,56 | 387,64 |
| **5** | 09 | 5 | 6 | 30 | 17,616 | 528,6 | 88,1 |
| | 10 | 5 | 6 | 30 | 17,616 | 528,6 | 88,1 |
| | 11 | 5 | 6 | 30 | 17,616 | 528,6 | 88,1 |
| **6** | 12 | 10 | 6 | 60 | 17,616 | 1057,2 | 176,2 |
| | 13 | 10 | 6 | 60 | 17,616 | 1057,2 | 176,2 |
| **7** | 15 | 14 | 7 | 98 | 17,616 | 1726,76 | 246,68 |
| | 16 | 14 | 7 | 98 | 17,616 | 1726,76 | 246,68 |
| **8** | 17 | 12 | 4 | 48 | 17,616 | 845,76 | 211,44 |
| | 18 | 12 | 4 | 48 | 17,616 | 845,76 | 211,44 |
| **Total Emisiones** | | | | | | **19064,84** | **3612,1** |

Nota: Elaborada por los Autores

Los anteriores cálculos realizados por medio de factores de emisión permitieron relacionar directamente la cantidad emitida de cada uno de los tres contaminantes evaluados con el consumo de combustible (carbón) de los 18 hornos analizados en el Sector el Plan, los diferentes valores obtenidos representan un promedio de las tasas de emisión que se producen en el proceso de cocción de los hornos.

Del mismo modo el procedimiento en el que se basó el cálculo de los factores de emisión tiene relación con lo establecido en el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, ya que en este se define la necesidad de usar factores determinados en el documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors de la EPA para la estimación de emisiones para procesos en los que se realice combustión.

Con base a lo mencionado se infiere que según lo especificado por la EPA el factor para determinar las emisiones de PM10 se encuentra por encima del promedio teniendo en cuenta la calificación que establece esta organización, razón por lo que es de una alta fiabilidad, además de esto cabe resaltar que las emisiones calculadas son aquellas partículas filtrables que poseen un tamaño menor o igual a 10 micras.

Para el caso del dióxido de azufre, se define que estas emisiones son el resultado de algún tipo de compuesto de azufre en la materia prima del ladrillo, mientras que para los NOx se tuvieron en cuenta las referencia 9 y 10 trazadas por la EPA y un concepto técnico que manifiesta que la producción de este contaminante resulta de cuatro parámetros fundaméntales; la fijación térmica del aire de combustión, la forma en la que se da la quema del combustible, la concentración de oxígeno y nitrógeno y el tipo de combustible que en este caso es carbón.

No obstante, es oportuno resaltar que para que exista un margen de error más reducido en la estimación la EPA recomienda para los contaminantes primarios citados el uso de balance de masas especialmente cuando se trata de instalaciones individuales, esto a raíz de que la calificación de estos factores se encuentra por debajo del promedio según la clasificación realizada por dicha organización.

A pesar de lo anterior los estudios rigurosos realizados por la Corporación Ambiental Empresarial (CAEM) a través de los años han arrojado factores de emisión similares, los cuales son actualizados con una alta frecuencia con el objeto de obtener una mayor confiabilidad en la aplicación de estos para la cuantificación de las emisiones producidas por hornos artesanales (Jaimes & Salgado, 2015).

Igualmente la metodología utilizada por Piñeros y Rodríguez en su tesis acerca de la determinación de los niveles de incumplimiento de la norma de calidad del aire en Nemocón se puede considerar como una estrategia válida para la estimación, ya que tienen en cuenta características propias de la elaboración de ladrillo por métodos artesanales en el municipio de Nemocón, lo que fue la razón primordial para la aplicación de la misma para este proyecto.

## 8.2 Identificar las oportunidades de producción más limpia para las industrias de fabricación de ladrillos por métodos artesanales en el sector El Plan.

### 8.2.1 Análisis de Procesos y Operaciones

Con el propósito de plasmar de manera gráfica el proceso de elaboración de ladrillo por métodos artesanales se diseñó un Ecomapa, el cual es una herramienta cualitativa de Producción Más Limpia utilizada para la identificación y localización de áreas o puntos críticos los cuales se definen con relación al consumo de agua, energía, materias primas, insumos, entre otros, y a la generación de emisiones, residuos y vertimientos (Arias, 2017).

De esta forma, se establecieron los puntos críticos de acuerdo con una escala de priorización de alternativas a implementar evaluados por niveles alto, medio alto, medio y bajo, definidos por color rojo, naranja, amarillo y verde respectivamente (Figura 21).

A partir de lo anterior, el ecomapa nos permite establecer la ruta de intervención en donde se determina como área crítica el proceso de cocción, ya que en este se genera principalmente una alta cantidad de gases contaminantes, además requiere de una tasa de consumo energético elevada. Por otra parte, es necesario resaltar que actividades como la extracción de la materia prima requiere de una atención, pues en esta se genera una alteración en el paisaje debido a la perdida de la cobertura vegetal, así como también se generan emisiones por la utilización de maquinaria.

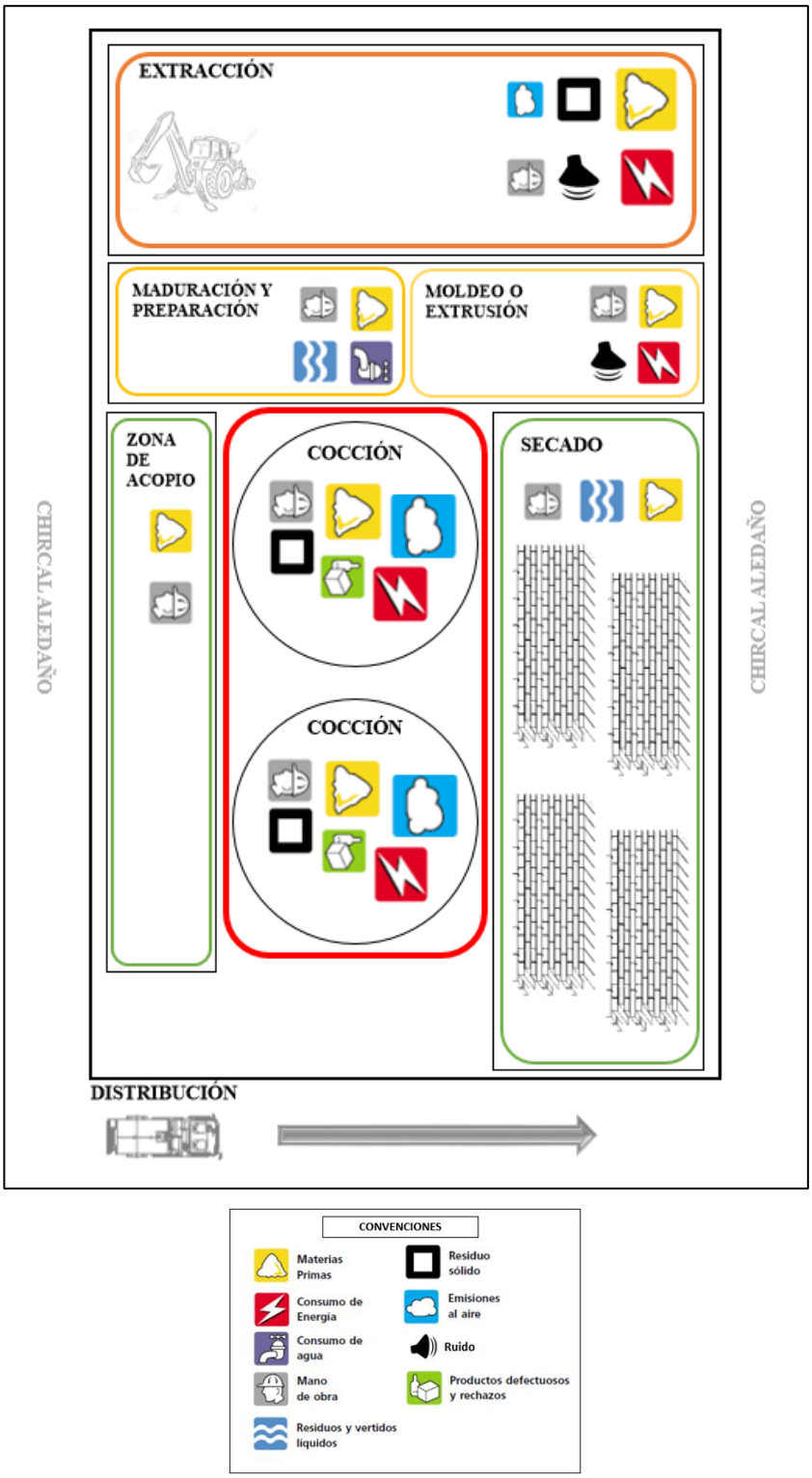



*Figura 21.* **Ecomapa del Proceso de Elaboración de Ladrillo en el sector El Plan**. Elaborada por los Autores

### 8.2.2 Relación Causas – Efectos del Problema

El árbol de problemas realizado (Figura 22) nos permitió identificar las relaciones causa-efecto que se reconocieron en el proceso de elaboración por métodos artesanales de las que sobresalen como causas principales la tradición y dependencia de la actividad debido a que esta se ha realizado a través de los años sin ningún tipo de mejoras operativas o tecnológicas que permitan reducir los efectos negativos como los son la generación de residuos, emisiones de gases y el alto consumo de materia prima e insumos requeridos para el desarrollo del proceso productivo.

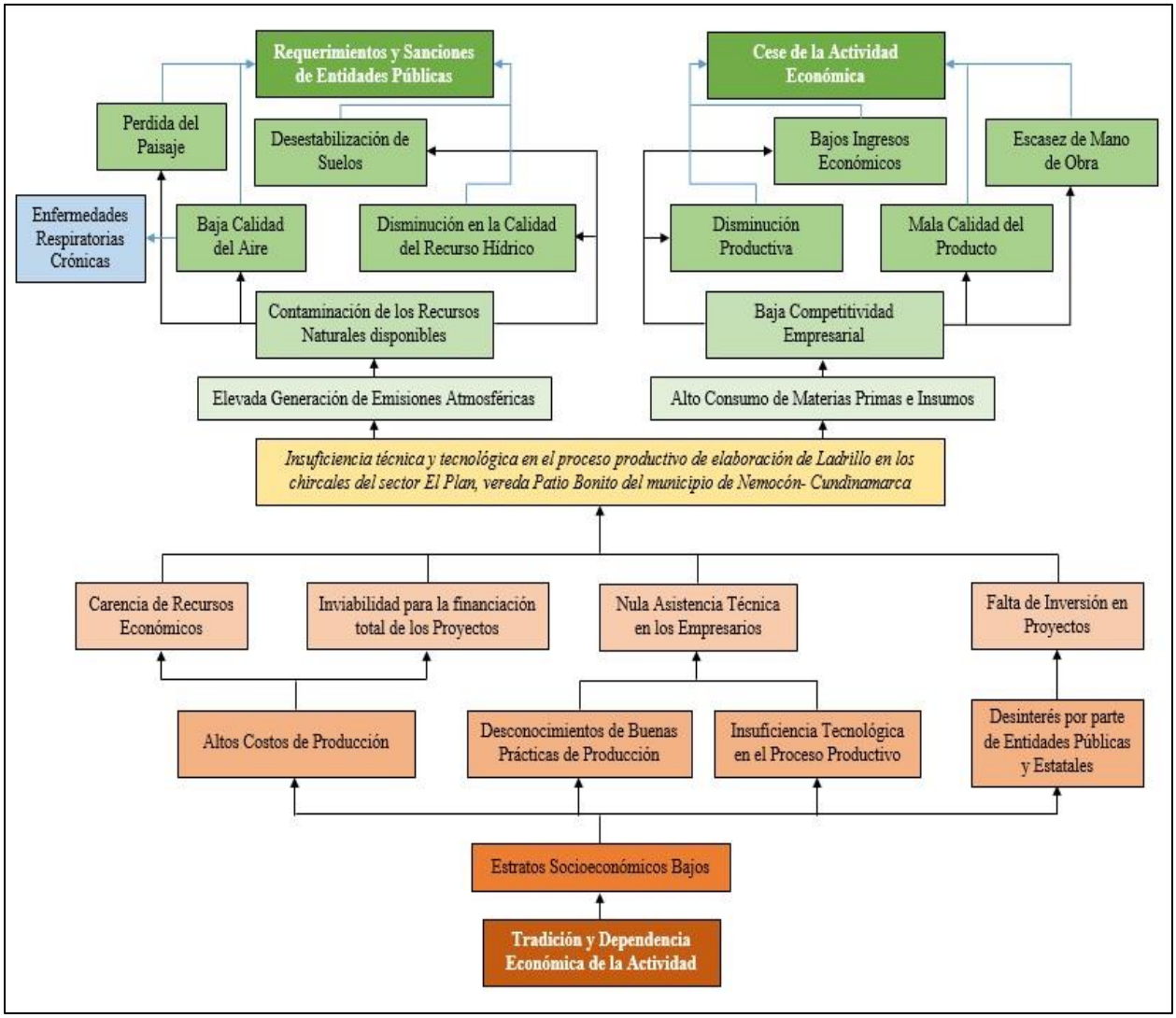



*Figura 22.* **Árbol de problemas.** Elaborada por los Autores

Del mismo modo la técnica del árbol de problemas concedió la oportunidad de estructurar con mayor precisión la situación actual en la que se encuentran las ladrilleras del Sector el Plan en Nemocón para de esta manera realizar un análisis situacional profundo con el objeto de atacar las causas del principal problema que se presenta, el cual se definió como la insuficiencia técnica y tecnológica en el proceso productivo. El desglosamiento de este problema hace parte de la metodología para la definición de estrategias de producción más limpia dentro del sistema a partir de una planificación de una serie de actividades que permitan un mejoramiento ambiental, económico y social como se observara más adelante en la matriz de alterativas a aplicar dentro del proceso productivo.

**8.2.3 Análisis DOFA del Subsector Ladrillero en el Municipio de Nemocón.**

Para el desarrollo de este proyecto fue necesario realizar un análisis interno (atributos del sector) y externo (atributos del entorno) de las industrias dedicadas a la elaboración de ladrillo por métodos artesanales en área de estudio. Para esto se aplicó la matriz DOFA (Tabla 19), la cual es una herramienta que permite identificar tanto las Debilidades y Fortalezas de las organizaciones, como las Oportunidades y Amenazas del entorno en que se desarrolla la actividad.

De acuerdo con el análisis de la matriz DOFA, estás industrias presentan varias fortalezas las cuales permiten aumentar la viabilidad del proyecto, pues existe un interés y conocimiento sobre la necesidad de realizar cambios estratégicos en sus procesos productivos con el fin de aumentar el desempeño económico y ambiental de sus organizaciones. Por otra parte, se presentan debilidades como en toda organización, entre las que encontramos una insuficiencia tecnológica, la caducidad del título minero para la explotación de la materia prima, entre otras, poniendo así en riesgo la competitividad de sus industrias y generando el cese de sus actividades comerciales.

Sin embargo, también es posible identificar las oportunidades que presenta la industria ladrillera gracias al acelerado crecimiento de mercados nacionales e internacionales y el interés de las diferentes entidades por realizar inversiones en el sector a mediano y largo plazo, lo que permitiría un aumento sustancial de las utilidades de las empresas. Las amenazas pueden ser controladas teniendo en cuenta que este proyecto busca priorizar las oportunidades de producción más limpia por medio de la implementación de buenas prácticas y tecnologías

limpias que permitan mejoras en el proceso productivo, brindando así una mayor competitividad y un reconocimiento de las empresas a nivel nacional.

**Tabla 19. Matriz DOFA**

| | Análisis interno | Análisis externo |
|---|---|---|
| Positivo | **Fortalezas** | **Oportunidades** |
| | • Alto potencial de explotación de materiales arcillosos en los predios de operación.<br>• Conformación de empresas familiares o heredadas.<br>• Conocimiento sobre la necesidad de cambios estratégicos en el sistema productivo del Ladrillo.<br>• Interés de los empresarios por el mejoramiento del desempeño económico y ambiental de las industrias.<br>• Miembros de la *Cooperativa Multiactiva de Ladrilleros Artesanales de Nemocón* (*COLANEM*).<br>• Estimulación de la oferta de empleo de la comunidad del sector. | • Crecimiento de la capacidad productiva en las empresas ladrilleras.<br>• Inversión para el mejoramiento tecnológico del proceso productivo.<br>• Acelerado crecimiento del sector de la construcción.<br>• Reducción de costos por aumento de la eficiencia de los procesos.<br>• Implementación de buenas prácticas productivas.<br>• Reconocimiento de las industrias ladrilleras.<br>• Competitividad ambiental empresarial.<br>• Ampliación del portafolio de productos.<br>• Posibles mercados de inversión a mediano y largo plazo.<br>• Apoyo y seguimiento de los proyectos formulados por parte de las entidades ambientales. |
| | **Debilidades** | **Amenazas** |

| | | |
|---|---|---|
| | • Elevados costos de materias primas e insumos.<br>• Falta de asesoría y consultoría ambiental.<br>• Desperdicio de materias primas a lo largo del proceso productivo.<br>• Excesivo consumo de energía.<br>• Insuficiencia tecnológica.<br>• Alta demanda de carbón como fuente energética del proceso de cocción.<br>• Disminución en la calidad y cantidad de los recursos naturales.<br>• Incapacidad de financiación para realizar los cambios estratégicos.<br>• Déficit del personal operativo calificado.<br>• Bajo nivel de competitividad y producción.<br>• Procesos sin normas de calidad<br>• Vencimiento del título Minero con el que contaban los industriales | • Ingreso de competidores potenciales al mercado nacional.<br>• Estricto marco regulatorio para la operación de las empresas.<br>• Constante renovación tecnológica de las medianas y grandes industrias ladrilleras.<br>• Menores costos de producción en las grandes industrias.<br>• Certificaciones de calidad.<br>• Obtención de títulos mineros para la extracción de la materia prima.<br>• Nuevas tecnologías aplicables en el proceso de cocción de los productos cerámicos.<br>• Incremento de la mano de obra.<br>• Exigencias de los clientes. |

Nota: Elaborada por los Autores

**8.2.4 Análisis de balance de materias en el proceso de cocción del ladrillo.** Con el objeto de continuar con la identificación de los impactos negativos e ineficiencias durante el proceso para la elaboración de ladrillo por métodos artesanales, se realizó el ecobalance para la actividad de cocción, ya que teniendo en cuenta el ecomapa (Figura 21) es el área con mayor criticidad en el mencionado proceso, razón por la que requiere una profundización en el análisis de las deficiencias presentadas por acción de este proceso.

Con base a lo anterior se identificaron y analizaron las diferentes entradas que están compuestas por la materia prima que ingresa al sistema de cocción del ladrillo, las salidas que representan los residuos ocasionados y el producto final a obtener que para este caso es el ladrillo. A continuación, se da la representación matemática de los datos obtenidos en el ecobalance realizado para la elaboración de una unidad de ladrillo, ya que esto permitirá proyectar al número de unidades que aproximadamente se producen por quema en el sector el plan.

Para el caso de la materia prima que ingresa al sistema se determinó inicialmente que según los datos bibliográficos presentes en el estudio de análisis del ciclo de vida del ladrillo y bloques de concreto en San Gerónimo – Cusco para un ladrillo con un volumen de 2208 $cm^3$ se requiere lo establecido a continuación.

**Tabla 20. Materia prima para ladrillo con un volumen de 2208 $cm^3$**

| Materia Prima | Cantidad (Kg/Ladrillo) |
|---|---|
| **Arcilla** | 3,08 |
| **Arena** | 1,4 |
| **Agua** | 0,36 |

*Nota:* Elaborada por los Autores con base en datos obtenidos de Pontificia Universidad Católica del Perú (2012)

Por lo tanto, si las características volumétricas aproximadas de un ladrillo del sector El Plan dan como resultado un valor de 1200 $cm^3$ (20cm*10cm*6cm) según las mediciones realizadas en campo, es posible obtener los valores específicos de la materia prima para el proceso de cocción, como se observa en la tabla.

**Tabla 21. Materia prima para el proceso de cocción**

| Materia Prima | Cantidad (Kg/Ladrillo) |
|---|---|
| **Arcilla** | 1,67 |
| **Arena** | 0,76 |
| **Agua** | 0,27 |

*Nota:* Elaborada por los Autores con base en datos obtenidos de Pontificia Universidad Católica del Perú (2012)

Tras la anterior, se procedió a determinar otra de las entradas al sistema, la cual es el aire en exceso requerido para que exista la combustión dentro del horno. Este procedimiento se realizó por medio de los datos que se presentaban sobre la composición del carbón en Cundinamarca, según la UPME para dicha composición se tuvieron en cuenta diversos factores como el índice de hinchamiento, las cenizas, el tamaño de las partículas, la temperatura y la capacidad de aglomeración.

**Tabla 22. Análisis último**

| Análisis Ultimo | | |
|---|---|---|
| ***Composición del Carbón en Cundinamarca (%)*** | | ***Fracción Másica*** |
| **Carbono** | 79,33 | 0,7933 |
| **Hidrogeno** | 5,03 | 0,0503 |
| **Oxigeno** | 4,77 | 0,0477 |
| **Azufre** | 0,84 | 0,0084 |

Nota: Elaborada por los Autores con base en datos obtenidos de Ecocarbón, & Universidad Pontificia Bolivariana (1998)

$$C_{(s)} + O_2 \rightarrow CO_{2\,(g)}$$

$$2H_{2\,(s)} + O_{2\,(g)} \rightarrow 2H_2O_{(g)}$$

$$S_{(s)} + O_2 \rightarrow SO_{2\,(g)}$$

De acuerdo con el análisis último realizado por la UPME el cual proporciona la información sobre el contenido de cada elemento que compone el carbón del departamento de Cundinamarca y con base a las reacciones globales de la combustión de carbones descritas en las ecuaciones anteriores, las cuales corresponden a las reacciones estequiométricas completas, se consiguió establecer la relación que existe entre cada una de estas y la cantidad de aire requerido para que se dé el proceso de combustión.

Dicho lo anterior y de acuerdo con las reacciones globales de combustión se deducen las siguientes ecuaciones para la determinación de la cantidad de aire requerido teniendo en cuenta que:

- Por cada kilogramo de carbono son necesarios 2.66 kilogramos de oxígeno.

$$Reacción\ Carbono = \ 0{,}7933 \frac{Kg\ Carbono}{Kg\ Carbón} \times 2{,}66 \frac{Kg\ Oxígeno}{Kg\ Carbono} \times \frac{1\ Kg\ Aire}{0{,}233\ Kg\ Oxígeno}$$

- Por cada kilogramo de hidrogeno son necesarios 8 kilogramos de oxígeno.

$$Reacción\ Hidrógeno = 0{,}0503 \frac{Kg\ Hidrógeno}{Kg\ Carbón} \times 8{,}00 \frac{Kg\ Oxígeno}{Kg\ Hidrógeno} \times \frac{1\ Kg\ Aire}{0{,}233\ Kg\ Oxígeno}$$

- Por cada kilogramo de azufre son necesarios 2 kilogramos de oxígeno.

$$Reacción\ Azufre\ = 0{,}0084 \frac{Kg\ Azufre}{Kg\ Carbón} \times 2{,}00 \frac{Kg\ Oxígeno}{Kg\ Azufre} \times \frac{1\ Kg\ Aire}{0{,}233\ Kg\ Oxígeno}$$

- Para este caso y teniendo en cuenta que el oxígeno es un aporte no existe un requerimiento de aire.

$$Reacción\ Oxigeno = 0{,}0477 \frac{Kg\ Oxígeno}{Kg\ Carbón} \times \frac{1\ Kg\ Aire}{0{,}233\ Kg\ Oxígeno}$$

Con las correspondientes ecuaciones planteadas se prosiguió a la cuantificación del aire requerido, proceso que se plasma en la Tabla 23.

**Tabla 23. Cantidad de aire**

| Cantidad de Aire Requerido (Kg Aire/Kg Carbón) | Reacción |
|---|---|
| 9,057 | Carbono |
| 1,727 | Hidrógeno |
| 0,072 | Azufre |
| 0,205 | Oxigeno |
| 11,06 | **Total** |

Nota: Elaborada por los Autores

En razón de lo anterior se prosiguió con la determinación del exceso de aire el cual según lo plantado por la UPME no debería ser muy grande puesto que se pierde mucha energía del carbón calentando el nitrógeno del aire, por lo que este se escapa sin ningún tipo de aprovechamiento. Sin embargo, para esta actividad artesanal que se realiza en el sector el Plan es recomendable utilizar un exceso de aproximadamente 45% debido a las características específicas de la cocción de los ladrillos (Ecocarbon & Universidad Pontificia Bolivariana, 1998).

Por consiguiente, se efectuó el cálculo del exceso de aire con las especificaciones ya mencionadas y con base a esto se determinó la cantidad de aire para una unidad de ladrillo ya que esta es la cantidad de entrada a usar para el ecobalance (Tabla 24).

**Tabla 24. Exceso de aire**

| Kg Aire/ Kg Carbón | Exceso De Aire | Aire Requerido Para Elaboración De Un Ladrillo (Kg) |
|---|---|---|
| 11,06 | 4,98 | 1,34 |

Nota: Elaborada por los Autores

En cuanto a las salidas del proceso de cocción se plasmaron inicialmente las emisiones producidas para la producción de un ladrillo considerando los datos aproximados del consumo de combustible y emisiones por cada quema realizada, como se observa en la Tabla 25.

**Tabla 25. Datos promedio del consumo de combustible y las emisiones producidas.**

| Datos promedio del consumo de combustible y las emisiones producidas. | |
|---|---|
| Consumo Combustible (Kg) | 12000 |
| Total de Piezas / Horneada | 45000 |
| Emisiones PM (Kg) | 300,51 |
| Emisiones $SO_2$ (Kg) | 212,48 |
| Emisiones NOx (Kg) | 51,5 |

Nota: Elaborada por los Autores

Contando con los datos promedio de las emisiones y consumo de combustible en la actividad de cocción para una quema, se procedió a realizar el cálculo del consumo de combustible (Kg/pieza de ladrillo) y la emisión por contaminante (Kg/pieza de ladrillo) teniendo en cuenta que para la producción de aproximadamente 45000 ladrillos es necesario emplear 12000 kilogramos de combustible que para este caso es carbón, razón por la cual se plantea la siguiente relación.

$$Consumo\ de\ Carbón\ \left(\frac{Kg\ Carbón}{Pieza\ \ de\ ladrillo}\right) = \frac{1\ Ladrillo * 12000\ Kg\ de\ Carbón}{45000\ ladrillos}$$

$$Consumo\ de\ Carbón\ 0{,}27\ \frac{Kg}{Pieza\ de\ ladrillo}$$

Con base en la anterior ecuación fue posible determinar teóricamente las emisiones de los contaminantes evaluados anteriormente para una pieza de ladrillo como se observa en la Tabla 26.

**Tabla 26. Datos de consumo de combustible y emisiones por pieza de ladrillo**

| Datos de consumo de combustible y emisiones por pieza de ladrillo | |
|---|---|
| Consumo de Carbón (Kg/pieza) | 0,27 |
| Emisiones PM10 (Kg/pieza) | 0,01 |
| Emisiones $SO_2$ (Kg/pieza) | 0,005 |
| Emisiones NOx (Kg/pieza) | 0,001 |

Nota: Elaborada por los Autores

Para finalizar con las salidas del proceso de cocción se definió la cantidad de residuos sólidos generados en este, por medio de la información recolectada a través del empresario Santiago Gómez quien manifestó que en su mayoría estos residuos se componen de una cantidad de ceniza y otra de chamote que se define como el polvo residual que se obtiene de los ladrillos defectuosos derivados del proceso (Lozano & González, 2018). La cantidad de los mismos se muestra a continuación teniendo en cuenta las relaciones dadas por el empresario.

**Tabla 27. Cantidad de residuos solidos**

| Cantidad de residuos solidos | |
|---|---|
| Cenizas (Kg) | 0,19 |
| Chamote (Kg) | 0,73 |

Nota: Elaborada por los Autores

En consecuencia, de todos los cálculos realizados para la elaboración del ecobalance se obtuvo la cuantificación de las entradas y salidas (Tabla 28) que permitieron determinar la eficiencia en la que desarrollar el proceso (Tabla 29) que da como resultado el producto final por el que se realiza el proceso el cual es el ladrillo.

**Tabla 28. Entradas y salidas**

| Entradas | Cantidad (Kg) | Salidas | Cantidad (Kg) |
|---|---|---|---|
| Arcilla | 1,67 | Emisiones PM | 0,06 |
| Agua | 0,27 | Emisiones SO2 | 0,006 |
| Arena | 0,76 | Emisiones NOx | 0,001 |

Tabla 28 (continua)

| Entradas | Cantidad (Kg) | Salidas | Cantidad (Kg) |
|---|---|---|---|
| Aire | 1,34 | Chamote | 0,63 |
| Carbón | 0,27 | Cenizas | 0,19 |
| | | Vapor de Agua | 0,5 |
| | | Exceso de Aire | 0.603 |
| | | Ladrillo | 2,2 |
| **Total** | **4,31** | **Total** | **4,19** |

Nota: Elaborada por los Autores

Se observa que tras realizarse el proceso de cocción de ladrillos las salidas son menores a las entradas, lo que se da debido principalmente a que existe una cantidad de carbón que no llega ni siquiera a quemarse a raíz de la ineficiencia del proceso.

Por otra parte el cálculo de la eficiencia especificado mediante la siguiente formula, se determina de la relación que existe entre la materia prima presente arcilla, arena y agua en la entrada del proceso con los residuos derivados tras el desarrollo del mismo, para lo que no se tiene en cuenta la ceniza debido al aprovechamiento de esta salida por medio de comercialización, igualmente cabe resaltar que las entradas de aire y carbón no se tienen en cuenta como materia prima ya que son considerados insumos para el proceso productivo.

$$Eficiencia = \frac{Materia\ Prima - Residuos}{Materia\ Prima}$$

$$Eficiencia = \frac{2{,}7\ Kg\ Materia\ Prima - 1{,}19\ Kg\ Residuos}{2{,}7\ Materia\ Prima} * 100$$

**Tabla 29. Eficiencia del proceso**

| Eficiencia del Proceso |
| --- |
| 56 % |

Nota: Elaborada por los Autores

Para el caso del sector el Plan y según el valor obtenido de la eficiencia del proceso de cocción para la elaboración de ladrillo se puede considerar que es bajo, basados en que la eficiencia de un proceso se trata de utilizar los recursos racionalmente, aprovechando los potenciales existentes en el desarrollo de la actividad, trayendo consigo una máxima productividad con costos de producción mínimos y alta rentabilidad para la empresa. Lo anterior debido a que para evaluar la eficiencia no se debe considerar únicamente la materia energética sino que es necesario que en toda la cadena del proceso de la elaboración del ladrillo se reduzca costos, residuos y consumos con el objeto de optimizarlo (ARBURG, 2016). Por lo que es posible precisar que en el área de estudio se desarrolla lo opuesto, debido a la alta cantidad de residuos producidos, el alto consumo de combustible y la baja tasa de producción de ladrillos de buena calidad, los cuales son los aspectos con mayor necesidad de mejoras para incrementar la eficiencia.

Dicha necesidad se puede satisfacer por medio de medidas que se relacionan a la aplicación de buenas prácticas y una reconversión tecnológica en los hornos que actualmente se usan en el sector, en búsqueda de tener una planificación clara de la producción con un producto final de alta calidad y rentabilidad. Del mismo modo la implementación de acciones que permitan establecer una asistencia técnica en los trabajadores del proceso es fundamental, ya que con esta se pueden fundar conocimientos técnicos para cada una de las actividades que se desarrollan en el Sector el Plan encaminando de esta manera el sistema de producción a un modelo ecológico, económico y productivo que le permita desarrollarse de forma competitiva en un nuevo mercado en el mediano y largo plazo.

Todos los análisis realizados en el desarrollo de este capítulo brindaron la posibilidad de un resultado final el cual fue el desarrollo del ecobalance del proceso de cocción como se muestra en la siguiente gráfica.

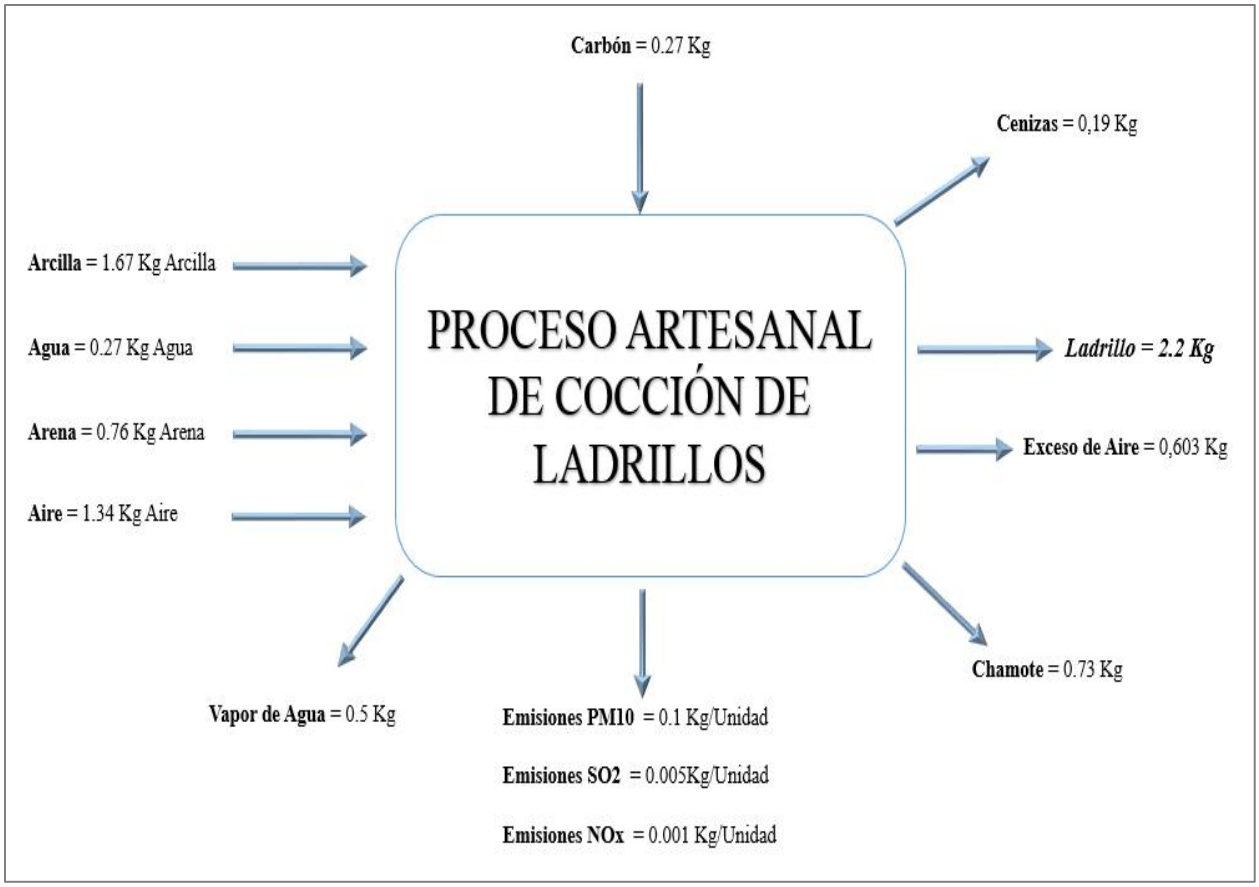



*Figura 23.* **Ecobalance del Proceso Artesanal de Cocción de Ladrillo.** Elaborada por los Autores

**8.2.5 Identificación de oportunidades de producción más limpia**. De acuerdo con el análisis presentado y el contexto actual del sector ladrillero en el municipio de Nemocón, se identificaron aspectos que reconocen la búsqueda de alternativas eficientes para mejorar el desempeño ambiental y a su vez lograr la competitividad de las empresas por medio del concepto de Producción Más Limpia (PML), permitiendo así optimizar el consumo de materias primas e insumos, lo que tiene como efecto directo la reducción de costos operativos y de producción en el proceso de la elaboración de ladrillo. Además se pueden obtener mayores utilidades permitiendo así la posibilidad de ingresar a nuevos mercados nacionales e internaciones con precios favorables para el sector de la construcción.

En este sentido, el enfoque de las oportunidades de mejora para los procesos de las ladrilleras artesanales se hace desde la puesta en práctica de la Producción Más Limpia teniendo como base los siguientes componentes:

- Buenas Prácticas Operativas

- Mejoras Operativas de los Procesos Productivos
- Tecnologías Limpias

Asimismo, aplicando esto en el proceso de la elaboración de ladrillo artesanal se conduce al ahorro de materias primas e insumos, costos ineficientes de producción y trayendo consigo beneficios económicos, ecológicos y sociales desde la reconversión de las tecnologías usadas.

***8.2.5.1 Buenas prácticas operativas.*** Las buenas prácticas operativas son medidas básicas que se deben implementar con el objetivo de alcanzar mejores rendimientos en los procedimientos operacionales, buenas condiciones de trabajo para los empleados o un buen desempeño administrativo de la industria. En este sentido, significa mejorar los controles de las operaciones, sustituir procesos ineficientes, efectuar cambios o modificaciones en los equipos o tecnologías que permitan incrementar las ganancias y reducir la generación de impactos en el ambiente (EELA, 2013).

***a)*** **Extracción de materia prima.** La calidad de las materias primas define de gran manera la calidad de los productos, es por esto que se recomienda (EELA, 2013):

- Identificar yacimientos de mayor rendimiento y calidad de la ***arcilla*** para la producción de ladrillos, permitiendo así conseguir ahorros económicos y beneficios ambientales, gracias a productos de calidad.
- Evaluar las características de rendimiento de la ***arcilla***, la cual debe tener la siguiente composición química para la elaboración de un ladrillo:

✓ Contenido de Álcalis y Ácidos: menor del 0.2%. Puede causar eflorescencia con un porcentaje mayor.

✓ Sustancias solubles (Sales: sulfato sódico, sulfato de magnesio): menor al 0.04%. Igual al anterior produce eflorescencias con un porcentaje mayor.

✓ Piritas (Sulfuros de Hierro). Su exceso puede producir una deposición sulfúrica, en el momento de la cocción, ocasionando coloraciones indeseables y cuarteaduras sobre el material.

✓ Contenido de Aluminio: 20% - 30%: Imparte plasticidad a la arcilla, y un exceso provoca contracciones altas en el secado.

✓ Contenido de Sílice: 50% - 60%: Da baja contracción, previene el agrietamiento, imparte formas uniformes al ladrillo. Asociada con la durabilidad. Su exceso disminuye la cohesión entre partículas.

✓ Óxidos de Hierro: Imparte coloración rojiza a la cerámica, previene que la cal produzca la función de la arena. Su exceso produce una coloración azul oscura.

✓ Cal: Debe estar dispersa (diámetro 0.2 mm), es decir cal viva más agua. Es un fundente que permite bajar la temperatura de fusión de la sílice. Si hay un exceso puede fundir demasiado provocando agrietamiento y deformación de la pieza.

✓ MgO: Imparte coloración amarilla a la cerámica. Ayuda a decrecer la deformación. Su exceso produce deterioro por expansión de la superficie.

✓ Además la arcilla debe tener un bajo contenido de material orgánico para que en el proceso de la cocción no queden espacios vacíos por el consumo de este material.

- La construcción de taludes en la extracción de arcillas es objeto de un diseño minero particular para cada zona de explotación, lo que depende de la geología local, la topografía y el análisis de suelos, cuya información permite realizar el estudio de estabilidad y poder calcular las dimensiones apropiadas, así mismo teniendo en cuenta el uso final que se le va a proporcionar a los terrenos después de cesada la explotación. Con esa finalidad, para el caso de las arcillas se pueden considerar las siguientes dimensiones de referencia: **Altura:** No mayor a 5 metros; **Angulo de Inclinación:** No mayor a 40° (Área Metropolitana del Valle Aburrá, 2006).

- La construcción de bermas entre los taludes debe tener un ancho no menor a 5 metros, por lo tanto las bermas así como el patio de secado deben tener una inclinación de 3 a 5° hacia el pie de los taludes para garantizar el flujo de las aguas de escorrentía hacia las cunetas que allí se sitúen.

- El material no útil, lo mismo que los residuos del proceso de fabricación de ladrillo se pueden emplear en el relleno de cárcavas resultantes de la explotación o para el afirmado de las vías de acceso, de transporte interno o de los patios.

- Es necesaria la construcción de obras fundamentales que permitan el manejo y conducción de las aguas de escorrentía o superficiales provenientes de la mina, tales como:

✓ Zanja de coronación en la parte alta del talud a 5 m del borde de la cresta del mismo, de profundidad 0.5 m y ancho de 0.6 m.

✓ Zanja perimetral, la cual se implementará con un recubrimiento en piedra del fondo de la misma para restarle velocidad al flujo y lograr una mayor sedimentación de las partículas, de 0.4 m de ancho x 0.5 m de profundidad.

✓ Cunetas en el pie de los taludes, con longitud igual a la de los mismos, profundidad de 0.4 m y ancho de 0.3 m.

✓ Pozos sedimentadores (reservorios) de 6 y 5 m de largo en promedio, 5 y 3 m de ancho y 2.5 m de profundidad en los patios o áreas aledañas.

- Después de cesada la actividad extractiva se debe hacer colocación de capa de suelo seguida de capa de césped, con estaca de soporte, en el máximo de área de las zonas afectadas. Al mismo tiempo, en linderos y zonas previamente adaptadas se debe efectuar la reforestación con especies arbóreas nativas, arbustivas y finalmente la siembra de una cerca viva como barrera de protección.
- En caso de transportar la materia prima, hacerlo en vehículos de mayor capacidad con el fin de obtener ahorros en el pago de fletes, pues se reduce el costo por Tonelada transportada.
- Adecuar áreas específicas para el almacenamiento por separado de la materia prima, combustibles, herramientas, productos y residuos, así como adoptar medidas de orden y limpieza en estas áreas.
- Establecer sistemas de registro y medición de las cantidades de materia prima e insumos utilizados por cada lote de producción, entorno a programar oportunamente la frecuencia de las compras (EELA, 2013).

**b) Maduración y preparación de la arcilla.** A continuación se presenta las buenas prácticas operativas que se pueden implementar durante el proceso de maduración y preparación de la ***arcilla***, buscando así productos de alta calidad (EELA, 2013).

- Determinar la cantidad de insumos necesarios para la elaboración de una mezcla adecuada, teniendo en cuenta las propiedades de plasticidad y el contenido de arenas con el fin de cumplir con determinadas condiciones dentro de la cocción.
- Tamizar la materia prima para eliminar piedras, raíces, madera u otros elementos que puedan afectar la calidad de la mezcla y la consistencia final del ladrillo.
- Utilizar agua no potable en el proceso de preparación de la arcilla, pues la mezcla conformada no requiere de agua con parámetros de calidad.
- Implementar otros materiales dentro de la mezcla, como por ejemplo las cenizas de carbón recuperadas del proceso de cocción, lo que permite aumentar la resistencia del ladrillo. Las cantidades deben ser establecidas de acuerdo con la calidad de las arcillas y por cada lote cocido, inicialmente agregar el 1% de este material en la mezcla.

- Trabajar el mezclado manual de una forma que la materia prima quede homogénea, apretando y golpeando constantemente para deshacer los terrones gruesos de arcilla y eliminar el aire.
- Medir la cantidad de materiales e insumos utilizados para el proceso de preparación de la mezcla por cada lote de producción y llevar un registro, buscando el control u optimización de los insumos.
- Registrar y controlar el uso y consumo de materia prima e insumos midiendo las cantidades de arcilla, tierra, agua y demás utilizadas dentro de la mezcla por cada lote de producción, de manera que permita conocer la composición real de cada una y poder comparar los resultados, buscando así el mejor beneficio para los siguientes lotes a producir (EELA, 2013).

**c) Moldeo o Extrusión**. Con el fin de obtener un proceso de moldeado eficiente de los productos, se deben seguir las siguientes recomendaciones (EELA, 2013):

- Estandarizar las medidas de los moldes para elaborar ladrillos con las mismas dimensiones y lo más uniformes posibles, teniendo en cuenta la normatividad técnica nacional establecida para la fabricación de ladrillos en Colombia.
- Observar periódicamente el desgaste de los moldes para evitar tiempos muertos, que se producen por el reemplazo de estos durante el proceso de producción
- Proteger los moldes de las condiciones climáticas cambiantes, cubriéndolos con mantas o adhiriendo pintura especial para disminuir su deterioro.
- Utilizar un espacio con las condiciones aptas del terreno (nivel, relleno) para realizar las actividades de moldeado y labranza.
- Guiar cuidadosamente con las manos la mezcla mecanizada expulsada por la extrusora hasta que se posicione adecuadamente en la zona de corte.

**d) Secado de las Piezas.** En el proceso de secado de las piezas se deben efectuar los siguientes consejos prácticos operativos (EELA, 2013) :

- Manipular las piezas con precaución durante su transporte a los patios de secado, logrando evitar mutilaciones de los bordes o afectando la uniformidad de los ladrillos.
- Vigilar frecuentemente la condición de los ladrillos mientras se encuentran en el proceso de secado, volteando diariamente los ladrillos.

- Adecuar un espacio de tipo invernadero con el objetivo de mejorar las condiciones de temperatura, permitiendo así un flujo de calor constante y evitando la humedad proveniente de factores externos.
- En caso de no poder realizar lo anterior, cubrir las piezas con mantas plásticas para protección de las lluvias.
- Cumplir con el tiempo necesario para el secado de las piezas de ladrillo, este estará completamente seco cuando no muestre señales de humedad en ninguna de las caras. Se recomienda un 13% de humedad aproximadamente, que puede ser calculada mediante la siguiente relación:

$$\%\, Humedad\ = \frac{(Peso\ inicial\ antes\ del\ Secado - Peso\ final\ despues\ del\ secado)}{(Peso\ inicial\ antes\ del\ Secado)} \times 100$$

Este porcentaje se logra después de cinco a siete días de secado, dependiendo de los factores meteorológicos de la zona.

- Mantener nivelado el suelo del área dispuesta para el secado, buscando el secado uniforme de todas las caras del ladrillo.

**e) Cocción.** La cocción es considerada la etapa principal del proceso de elaboración del ladrillo, convirtiendo de esta forma al horno en el componente tecnológico más importante para el éxito del proceso productivo, y de esta forma se proponen las siguientes prácticas operativas.

- Operar los hornos a la máxima capacidad (EELA, 2013).
- Evitar cargar piezas húmedas al horno, pues requiere de mayor consumo energético en el proceso de cocción. En efecto debido a los cambios desequilibrados de temperatura, los ladrillos pueden presentar averías o grietas.
- Utilizar combustibles limpios que permitan reducir los impactos ambientales durante el proceso de cocción de ladrillos.
- Comprobar la calidad del carbón considerando la brillantez como parámetro de evaluación, pues entre más brillante su calidad es superior y entre más opaco su calidad disminuye, lo que concede un alto rendimiento de transferencia calorífica durante la cocción.
- Esparcir carbón entre 3 y 5 mm de espesor sobre cada hilada de ladrillos armada, y en los bordes de hasta 8 mm, permitiendo de esta forma proporcionar la temperatura adecuada dentro del horno.

- Controlar la perdida de calor que se puede presentar por fugas entre las uniones de ladrillo, buscando sellarlas con empastado de arcilla u otro material.
- Evaluar y controlar la temperatura dentro de los hornos, implementando medidores como termocuplas o termómetros (EELA, 2013).

### 8.2.6 Análisis de las Oportunidades de PML

El análisis de las oportunidades de Producción Más Limpia se realiza por medio de una matriz de diagnóstico de alternativas, la cual es una herramienta que permite evaluar para el caso de este proyecto aquellas enfocadas a la reconversión tecnológica, comparando los aspectos técnicos, ecológicos, económicos y sociales. Atendiendo a estas consideraciones se seleccionaron cuatro tipos de hornos, teniendo en cuenta que esta es la alternativa de reconversión tecnológica que se aplicara al proyecto, ya que como se logró determinar con el análisis realizado por medio del ecomapa, la relación causa y efecto y el ecobalance, el área critica del proceso productivo realizado por los empresarios del sector El Plan, es la actividad de cocción. A razón de lo anterior y con el fin de seleccionar una propuesta individual y una propuesta grupal se realizó la evaluación de la matriz, estableciendo la siguiente escala de calificación: 10 – Excelente, 9 – Bueno, 8 – Regular, 7 – Malo.

**Tabla 30. Matriz de diagnóstico de alternativas**

| **Alternativas de Reconversión Tecnológica** | **Aspecto(s)** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | **Puntaje** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Técnico** | | | | **Ecológico** | | | | | | **Económico** | | | | | **Social** | | | | |
| | **Estrategias** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Área del Horno | Consumo de Combustible | Tiempo de Producción | Calidad del Producto | Emisiones | Consumo de Agua | Eficiencia Energética | Generación de Residuos | Uso del Suelo | Deforestación | Costo de Inversión | Mano de Obra | Ahorro de Combustible | Capacidad Productiva | Utilidad Anual | Calidad de Vida | Menor exposición | Mejora calidad del aire | Mayores ingresos | |
| **Horno Colmena** | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 | 7 | 8 | 9 | 7 | 8 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 | 8 | 144 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horno ZigZag** | 8 | 8 | 8 | 9 | 8 | 7 | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 8 | 9 | 9 | 9 | 8 | 8 | 9 | 156 |
| **Horno Hoffman** | 9 | 7 | 9 | 10 | 9 | 7 | 8 | 9 | 8 | 7 | 8 | 8 | 9 | 10 | 10 | 9 | 8 | 9 | 9 | 163 |
| **Horno Túnel** | 9 | 10 | 9 | 10 | 9 | 7 | 9 | 8 | 9 | 8 | 8 | 7 | 10 | 10 | 10 | 9 | 9 | 9 | 10 | 170 |

Nota: Elaborada por los Autores

Así pues, según la Tabla 30, se puede deducir que el Horno Colmena y el Horno Hoffman, obtuvieron un menor puntaje en términos de evaluación de estrategias, pues su desarrollo se ejecuta en menores costos de implementación pero así mismo operan con una menor eficiencia productiva y ambiental. Además de esto se tuvieron en cuenta las consideraciones por parte de los empresarios obtenidas en la fase de diagnóstico quienes manifestaron un mayor interés por el Horno Túnel.

Ahora bien, se evaluó el Horno ZigZag y el Horno Túnel, como propuesta individual y grupal respectivamente, encontrando así ser las mejores alternativas, pues sus procesos de cocción suelen ser más eficientes, donde la capacidad productiva es mayor y el consumo energético es menor, lo que permite una reducción en la generación de emisiones y logrando ser tecnologías que a pesar de sus elevados costos de implementación permiten un retorno de la inversión a corto plazo.

## 8.3 Diseño de los proyectos con las oportunidades de producción más limpia para la industria de elaboración de ladrillos.

Para el desarrollo de este capítulo se abordarán 3 temas principales con el fin de concluir el mismo con los diseños de dos hornos que permitan brindar soluciones a nivel individual con la implementación de un horno zigzag o grupal a través de un horno túnel que posee una mayor eficiencia pero de un costo económico más elevado del cual podrán hacer uso los 9 empresarios por medio de un tipo de asociación entre ellos.

Los pasos se especifican a continuación con base en el análisis de oportunidades realizado en el capítulo anterior y los hornos que se definen como las estrategias de proyectos de reconversión tecnológica a implementar en el Sector el Plan.

La elección de dichas estrategias de proyectos se realizó por medio de la evaluación de una matriz de alternativas la cual fue analizada en el capítulo anterior y de la que surgió el horno túnel como propuesta para que los nueve gerentes de las microempresas se planteen asociarse y hacer uso de este y el horno zigzag como propuesta individual, para el cambio de los hornos artesanales que se emplean para la elaboración de ladrillos en el Sector El Plan, estos poseen las siguientes características técnicas.

## I. Horno Tipo Túnel

Los hornos tipo túnel son una de las tecnologías con mejores características ambientales, de producción de alta calidad, tiempo de producción y consumo energético, sin embargo su uso se encuentra restringido por el alto costo por lo cual se recomienda que se implementen cuando se van a hacer procesos productivos de gran escala (EELA, 2015).

El horno puede dividirse en 3 zonas en las que se realizan las siguientes actividades:

- Precalentamiento: Lugar por donde ingresa el producto crudo a través de vagonetas que se someten a una temperatura ascendente hasta llegar a los 33°C, en esta zona hay una producción de gases que se dirigen hacia la chimenea que se localiza encima del techo generalmente.
- Cocción: Se ubican los quemadores por lo que la temperatura puede llegar hasta los 950°C dependiendo del tipo de arcilla que ingrese en el sistema.
- Enfriamiento: Los ladrillos comienzan a disminuir su temperatura a través de la inyección de aire frio del ambiente y extracción de aire caliente que puede ser reutilizado en alguno de los procesos anteriores.

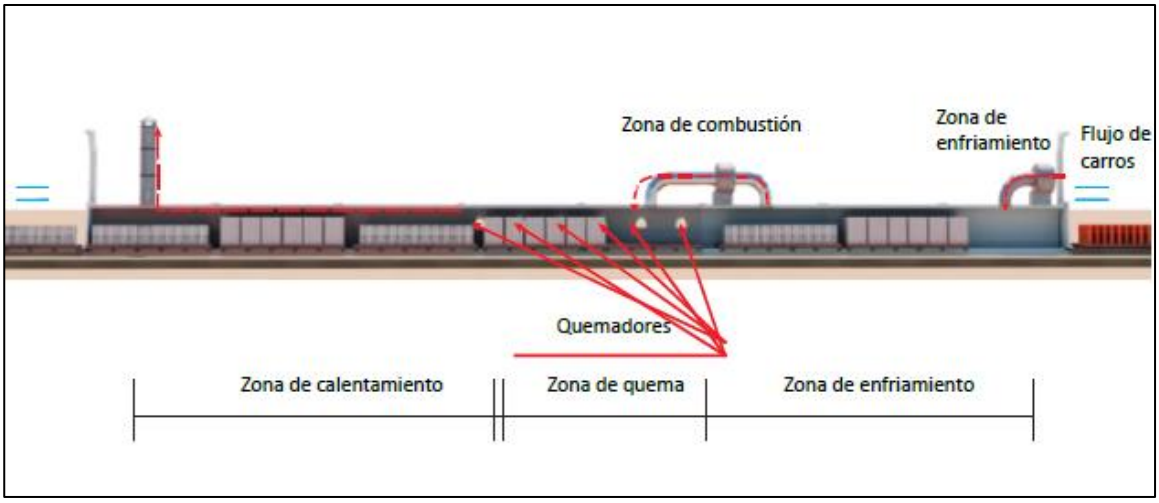



*Figura 24.:* **Zonas del Horno Túnel.**

## II. Horno Tipo Zigzag

Este horno semicontinuo es una opción para aquellos empresarios que quieren llevar su producción a mediana escala ya que aumenta significativamente la cantidad de producto que se obtiene anualmente, debido a que su consumo energético y cantidad de emisiones generadas son menores, además de esto el costo no es considerable si se tienen en cuenta las variables anteriores, por estas razones la eficiencia aumenta.

Su funcionamiento consiste en cámaras paralelas en forma de túnel, en donde pasa el fuego por medio de aberturas que sirven para el suministro de combustible. Lo novedoso de la operatividad de este horno se da en el proceso de cocción ya que este se desarrolla gracias a un movimiento horizontal del calor a través de todo el horno hasta transferirse a la cámara consecutiva para de esta manera alcanzar la temperatura ideal que son aproximadamente 1000°C.

Por otra parte el proceso de enfriamiento se realiza generalmente por una asistencia de ventiladores industriales que aceleren los tiempos de operación, con este mismo fin el diseño del horno permite que mientras en una cámara se está desarrollando el proceso de cocción es posible iniciar el enfriamiento y descarga de la cámara anterior (EELA, 2015).

**8.3.1 Análisis Ecológico**. Teniendo en cuenta que el eje principal en el que se centra este proyecto es la disminución de los impactos ambientales negativos con la aplicación de diferentes estrategias de producción más limpia orientadas a la reconversión tecnológica, fue posible determinar dos estrategias de proyectos basados en la implementación de hornos con mejores

características ecológicas para el desarrollo del proyecto ya que estos reducen la cantidad de emisiones de gases contaminantes a la atmosfera, la generación de residuos sólidos ya que requieren menor cantidad de carbón y uso de plástico para el desarrollo del proceso productivo.

La elección de dichas estrategias de proyectos se realizó por medio de la evaluación de una matriz de alternativas la cual fue analizada en el capítulo anterior y de la que surgió el horno túnel como propuesta para que los nueve gerentes de las microempresas se planteen asociarse y hacer uso de este y el horno zigzag como propuesta individual, para el cambio de los hornos artesanales que se emplean para la elaboración de ladrillos en el Sector El Plan.

Con base a lo anterior, se realizaron los siguientes cálculos.

***8.3.1.1 Reducción de emisiones***. Respecto a la reducción de emisiones se estableció gracias a la revisión bibliográfica realizada que con la implementación de un horno túnel se puede reducir en un 60% las emisiones producidas en chircales compuestos por hornos a fuego dormido (EELA Modelo de intervención), a razón de esto se hace la comparación de las emisiones estimadas anteriormente con las que se generarían la nueva tecnología (Tabla 31).

**Tabla 31. Emisiones**

| Contaminante | Hornos a Fuego Dormido. | Horno Túnel |
|---|---|---|
| PM10 (Kg/Año) | 26963,44 | 10785,76 |
| NOx (Kg/Año) | 4620,14 | 1848,06 |
| $SO_2$ (Kg/Año) | 19064,84 | 7625,936 |

Nota: Elaborada por el Autor

Para el caso de un proyecto individual de reconversión tecnológica a través de la construcción de un horno tipo Zigzag se realizó el mismo procedimiento que con el Túnel (Tabla 32), pero para este se tomaron las emisiones promedio anuales ya que con esto se evaluaría la producción de emisiones aproximada de un solo horno a fuego dormido y no del conjunto de hornos que se encuentran en El Sector el Plan, además de esto la reducción se estimó en 35% (EELA, 2015) ya que es el valor de reducción estimado para este tipo de hornos, con base a los proyectos realizados por EELA con hornos semicontinuos, debido a que no se cuenta con una amplia información por parte de otras fuentes acerca de este aspecto, en relación a los procesos artesanales que se llevan a cabo en la zona de estudio.

**Tabla 32. Hornos semicontinuos**

| Contaminante | Hornos a Fuego Dormido. | Horno Zigzag |
|---|---|---|
| PM10 (Kg/Año) | 1586,08 | 1030,96 |
| NOx (Kg/Año) | 271,77 | 176,65 |
| $SO_2$ (Kg/Año) | 1121,46 | 728,95 |

Nota: Elaborada por el Autor

Con los resultados expuestos anteriormente se evaluó la diferencia que existe entre la producción de emisiones para cada uno de los hornos (Tabla 31 y 32) obteniendo que con la implementación de estas nuevas tecnologías se reducirían en gran cantidad las emisiones de gases contaminantes lo cual debería ser acompañado por medidas de buenas prácticas empresariales que aumenten el porcentaje de reducción para de esta manera mejorar significativamente la calidad del aire a nivel sectorial y municipal, disminuyendo de esta manera las diversas enfermedades que se producen a raíz de esta problemática ambiental.

***8.3.1.2 Reducción de residuos sólidos***. Con la aplicación de estas propuestas de reconversión sería posible minimizar la cantidad de carbón usado durante el proceso de cocción debido a que estos hornos cuentan con sistemas de combustión más eficiente, razón por lo cual se requiere menos cantidad de este insumo y se daría un menor desperdicio de carbón (carbón no quemado) ya que estos sistemas hacen que la quema se realice homogéneamente.

Además de lo anterior, con estos procesos más eficientes los ladrillos obtenidos tienen una mejor calidad por lo que el chamote obtenido como residuo seria mínimo y este se aprovecharía a través de la aplicación de buenas prácticas, de las que sobresale el uso de molinos que trituren dicho residuo para que este se reintegre al proceso productivo por medio del aprovechamiento en la mezcla y preparación de la arcilla.

Del mismo modo, en los hornos a fuego dormido se usa una gran cantidad de plástico, con el fin de protegerlos da la lluvia, ya que estos se encuentran al aire libre y la interferencia de agua haría el proceso de cocción aún más ineficiente, esta situación desaparecería totalmente con las nuevas tecnologías propuestas, ya que para estas se construyen cubiertas con tejas de zinc.

Por último, el acceso a estas tecnologías limpias hace que las empresas ahorren dinero al quedar exentos de pagos de impuestos, ya que se podrían ver favorecidos por los beneficios ofrecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible los cuales están expuestos en los

estatutos tributarios, algunos ejemplos de esto son la deducción de inversiones en control y mejoramiento del Medio Ambiente y la deducción en la base de impuesto a la renta.

### 8.3.2 Análisis Socioeconómico

***8.3.2.1 Costos de ineficiencia***. Partiendo del principio de que el cálculo de los costos de ineficiencia es una herramienta básica para la contabilidad empresarial, en la que se involucran diversos tipos de costos en la realización de las actividades, los cuales no son estrictamente necesarios para obtener el mismo resultado tras el desarrollo del proceso productivo de la elaboración del ladrillo. Por esta razón es necesario plantear el costo real y el costo ideal que estará dividido según las dos propuestas de reconversión tecnológica anteriormente citadas.

**- Costo real de propuesta individual.** El costo real se halló respectos a algunos datos obtenidos tras el desarrollo de los capítulos anteriores en lo que respecta al costo de uso de materias primas, energía, mano de obra, transporte, entre otros y a las ganancias por la venta de algunos residuos y el ladrillo como producto final, razón por a la cual se dividirá entre los costos de producción y las ganancias obtenidas.

a) **Costos.** Lo primero que se realiza para la obtención de los costos es estimar los valores promedios de la producción (Tabla 33) con el fin de que estos representen el valor monetario que representa la operación de un solo horno artesanal

**Tabla 33. Costos**

| Promedio Número de Piezas Horneadas | Promedio Numero de Horneadas al Año | Promedio Consumo de Combustible (Ton) | Mantenimiento Promedio | Promedio de Número de Trabajadores |
|---|---|---|---|---|
| 45000 | 6 | 12 | 1 cada 8 meses | 6 no fijos |

Nota: Elaborada por el Autor

Ya con estos datos se estiman los valores económicos para el combustible, transporte de material, insumos y mano de obra la cual se paga por jornal en un costo por día de 2% más a lo que se establece para el salario mínimo del año en vigencia (Tabla 34).

**Tabla 34. Valores económicos para el combustible**

| Renta de Retroexcavadora/Hora (COP) | Promedio Valor Económico del Mantenimiento | Promedio Costo Combustible/ Quema (COP) | Promedio Costo Agua/Quema (COP) | Salario por Jornal (COP) |
|---|---|---|---|---|

| (COP) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $ 90.000 | $ 1.638.888 | $ 2.253.333 | $ 742.537 | $ 36.978 |

Nota: Elaborada por el Autor

Con los datos anteriores se prosigue a determinar el valor anual por actividad y por la totalidad del proceso productivo, lo que se define como el gasto total para la elaboración del ladrillo (Tabla 35 y 36).

**Tabla 35. Valor anual**

| Costo Renta de Retroexcavadora (COP) Anual | Costo Mantenimiento (COP) Anual | Costo Combustible (COP) Anual | Promedio Costo Agua/L (COP) Anual | Mano de Obra (COP) Anual |
|---|---|---|---|---|
| $ 1.080.000 | $ 2.458.333 | $ 13.770.370 | $ 4.455.222 | $ 6.656.181 |

Nota: Elaborada por el Autor

**Tabla 36. Total, costos anuales**

| Total Costos anuales (COP) |
|---|
| **$ 28.420.108** |

Nota: Elaborada por el Autor

**b) Ingresos.** Para la determinación de ingresos los cuales representan la remuneración económica por la actividad de la elaboración del ladrillo, se tuvieron en cuenta el precio por unidad del producto que fue dado por los empresarios del Sector el Plan y un adicional representado en la venta de la ceniza principalmente para actividades cementeras (Tabla 37).

Inicialmente se estimaron los valores por quema (Tabla 37) y luego estos se proyectaron a lo que se recibe anualmente por la actividad (Tabla 38), para de esta forma fijar el total de ingresos (Tabla 39)

**Tabla 37. Ingresos por venta unidad de ladrillo**

| Ingresos por Venta de Unidad de Ladrillo (COP) | Porcentaje de Perdida o Rotura por Quema | Ingresos por Venta de Unidades Producidas por Quema (COP) | Ingresos por Venta de Cenizas Producidas/Quema (COP) |
|---|---|---|---|
| $ 200 | 4% | $ 8.640.000 | $ 150.000 |

Nota: Elaborada por el Autor

**Tabla 38. Ingresos por Venta de Unidades Producidas**

| Ingresos por Venta de Unidades Producidas Anualmente (COP) | Ingresos por venta de las Cenizas Anualmente (COP) |
|---|---|
| $ 52.800.000 | $ 900.000 |

Nota: Elaborada por el Autor

**Tabla 39. Total ingresos**

| Total Ingresos (COP) |
|---|
| **$ 53.700.000** |

Nota: Elaborada por el Autor

A través del cálculo de la diferencia de los resultados obtenidos tanto de ingresos como de costos se obtuvo la ganancia o utilidad neta dentro del proceso para un tiempo mensual y anual como se evidencia en la Tabla 40.

**Tabla 40. Ganancia**

| Ganancia Neta Mensual (COP) | Ganancia Neta Anual (COP) |
|---|---|
| $ 2.106.657 | $ 25.279.891 |

Nota: Elaborada por el Autor

### Costo Ideal de Propuesta Individual

**a) Costos.** El costo ideal de la propuesta individual se calcula en la hipotética situación de que se diera la implementación de un horno tipo Zigzag, el cual reduce en un 40% el consumo de

combustible permite realizar horneadas durante todo el año razón por la que se aumenta la capacidad de producción (Tabla 41) (CAEM, 2015).

**Tabla 41. Capacidad de producción**

| Promedio Número de Piezas Horneadas | Promedio Numero de Horneadas al Año | Promedio Consumo de Combustible (Ton) | Promedio Costo Combustible (COP) | Promedio Número de Trabajadores |
|---|---|---|---|---|
| 170.000 | 12 | 7 | $ 1.314.444 | 10 |

Nota: Elaborada por el Autor

Para esta propuesta se mantienen las variables relacionadas con el transporte, el combustible y el agua, pero se modifica lo que tiene que ver con la mano de obra ya que al ser un proceso ideal se establece la posibilidad de dar a los empleados por lo menos el salario mínimo legal vigente en Colombia, (Tabla 42).

**Tabla 42. Promedio costos**

| Renta de Retro Excavadora/Hora (COP) | Promedio Costo Combustible (COP) | Promedio Costo Agua/Quema (COP) | Salario Mínimo en Colombia (COP) |
|---|---|---|---|
| $ 90000 | $ 1.314.444 | $ 16.830.841,50 | $ 781.242 |

Nota: Elaborada por el Autor

Con base a los costos anteriormente citados se realiza la proyección a un tiempo anual de los mismos, teniendo en cuenta que como el horno permite un aumento en la producción se requerirán mayor cantidad de insumos por lo que los costos en estos ámbitos aumentarán respecto al proceso real, lo que se ve reflejado en el tiempo de renta de la retroexcavadora, gasto de agua y tiempo de trabajo que se extiende a un año (Tabla 43).

**Tabla 43. Proyección**

| Costo Renta de Retroexcavadora Anual (COP) | Costo Combustible (COP) Anual | Promedio Costo Agua/L (COP) Anual | Costo Mano de Obra (COP) Anual |
|---|---|---|---|
| $ 8.640.000 | $ 15.773.331 | $ 201.970.098 | $ 93.749.040 |

Nota: Elaborada por el Autor

Para finalizar se realiza con la sumatoria de cada parámetro evaluado en los costos y se define el total requerido (Tabla 44).

**Tabla 44. Total costos**

| Total Costos anuales (COP) |
|---|
| **$ 320.132.469** |

Nota: Elaborada por el Autor

**b) Ingresos.** Con relación a los ingresos se observa que con la implementación de este tipo de horno el costo por unidad de ladrillo producido podría aumentar aproximadamente al doble o más si se desea mientras que la pérdida del producto por rotura o perdida disminuye en un 3 % en relación con el proceso real aumentando de manera significativa la producción e ingresos (Tabla 45).

**Tabla 45. Ingresos**

| Ingresos por Venta por Unidad de Ladrillo | Porcentaje de Perdida o Rotura por Quema | Ingreso por venta de las Unidades Producidas por Quema (COP) |
|---|---|---|
| 400 | 1% | $ 67.320.000 |

Nota: Elaborada por el Autor

Respecto a los resultados anteriores se calculan los ingresos que se darían con la implementación de este nuevo horno (Tabla 46) y con esto se establece la ganancia neta mensual y anual las cuales son considerablemente mayores a las que se obtienen actualmente (Tabla 47) con el proceso que se lleva a cabo.

**Tabla 46. Ingreso total de venta de las unidades**

| Ingreso total de Venta de las Unidades Producidas Anualmente (COP) |
|---|
| $ 807.840.000 |

Nota: Elaborada por el Autor

**Tabla 47. Ganancia**

| Ganancia Neta Mensual | Ganancia Neta Anual |
|---|---|
| $ 40.642.294 | $ 487.707.531 |

Nota: Elaborada por el Autor

**Costo real de propuesta grupal**

**a) Costos.** Para el caso de la propuesta real grupal se tomaron los datos evaluados anteriormente, pero fueron estimados a través de los valores totales que se obtuvieron tras el desarrollo de la fase diagnóstico para los 18 hornos de producción de ladrillo que se encuentran ubicados en el sector el plan (Tabla 48).

**Tabla 48. Costos**

| Número de Hornos | Número de Piezas Horneadas | Número de Horneadas al Año | Consumo de Combustible (Ton) | Mantenimiento / Horno | Numero Empleados |
|---|---|---|---|---|---|
| 18 | 765.000 | 6 | 208 | 1 | 108 |

Nota: Elaborada por el Autor

Con base a los resultados anteriores se comienza a hacer la proyección de los costos para todos los hornos según los valores que se establecieron en el inicio del análisis económico (Tabla 49)

**Tabla 49. Proyección de costos**

| Valor del Mantenimiento (COP) | Costo Combustible / Quema (COP) | Costo Agua / Quema (COP) | Renta de Alquiler del Sector el Plan de Retroexcavadora / Hora (COP) |
|---|---|---|---|
| $ 29.500.000 | $ 40.559.994 | $ 13.365.668 | $ 1.620.000 |

Nota: Elaborada por el Autor

Ya con estos valores calculados se procede a continuar con la metodología que se ha venido manejando y se calculan los costos anuales de producción (Tabla 50) de los que se determina el valor total de por medio de la sumatoria de estos (Tabla 51).

**Tabla 50. Costos anuales**

| Costo Mantenimiento (COP) Anual | Costo Combustible (COP) Anual | Promedio Costo Agua/L (COP) Anual | Costo Mano de Obra (COP) Anual | Costo Renta de Retroexcavadora (COP) Anual |
|---|---|---|---|---|
| $ 44.250.000 | $ 247.866.630 | $ 81.679.084 | $ 119.811.273 | $ 19.440.000 |

Nota: Elaborada por el Autor

**Tabla 51. Total costos**

| Total Costos Anuales (COP) |
|---|
| $ 513.046.986 |

Nota: Elaborada por el Autor

**b) Ingresos.** En cuanto a los ingresos se prosigue por calcular el costo por quema y anual (Tabla 52 y 53) de las unidades de ladrillo producidas en el sector el plan, las cuales son obtenidas teniendo en cuenta las pérdidas de aproximadamente el 4% del total de la producción, posterior a esto se determina los ingresos extras derivados de la venta de un residuo como la ceniza este valor se determina según los datos del costo real de la propuesta individual programados para los 18 hornos.

**Tabla 52. Ingresos por quema**

| Ingresos por Venta de las Unidades Producidas por Quema (COP) | Ingresos por Venta de las Cenizas Producidas / Quema (COP) |
|---|---|
| $ 146.880.000.00 | $ 2.700.000 |

Nota: Elaborada por el Autor

**Tabla 53. Ingreso Anual**

| Ingreso por Venta de las Unidades Producidas Anualmente (COP) | Ingreso por Venta de las Cenizas Producidas / Anualmente (COP) |
|---|---|
| $ 897.600.000.00 | $ 16.500.000 |

Nota: Elaborada por el Autor

Teniendo en cuenta los valores anuales se realiza la sumatoria de los dos datos y se determina el total de ingresos dentro proceso real de los 18 hornos (Tabla 54) para esta manera hallar de la misma manera que se ha venido trabajando las ganancias mensuales y anuales (Tabla 55).

**Tabla 54. Total Ingresos**

| Total Ingresos (COP) |
|---|
| $ 914.100.000 |

Nota: Elaborada por el Autor

**Tabla 55. Ganancia**

| Ganancia Neta Mensual (COP) | Ganancia Neta Anual (COP) |
|---|---|
| $ 33.421.084 | $ 401.053.013 |

Nota: Elaborada por el Autor

**Costo Ideal de Propuesta Grupal**

**a) Costos.** En el caso del costo ideal de la propuesta grupal, la cual tienen como eje fundamental la implementación de un horno túnel que reemplace los 18 hornos que actualmente se utilizan en el sector el Plan, se obtuvieron los siguientes resultados en relación con el proceso productivo con la mencionada reconversión tecnológica (Tabla 56).

**Tabla 56. Costos**

| Número de Hornos | Número de Piezas Horneadas / Quema | Número de Horneadas al Año | Consumo de Combustible (Ton) | Número de Piezas con Perdidas | Número de Trabajadores |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 909091 | 12 | 18 | 890909 | 35 |

Nota: Elaborada por el Autor

Basados en los datos de producción de la tabla anterior se determinaron los costos (Tabla 57), de los que cabe resaltar que es necesaria una gran cantidad de dos factores principalmente, primero el personal (mano de obra) para el desarrollo de la actividad con este tipo de horno, debido a que dentro de sus características se encuentra el funcionamiento continuo lo que representa las 24 horas del día los 7 días de la semana y segundo el consumo masivo del recurso hídrico, ya que según uno de los casos de éxito presentados por EELA se estimó un valor de 175 L/Ton de ladrillo producida lo que significa una tasa de consumo con un nivel sumamente elevado. Por otra parte, se observa que el gasto a nivel de combustible es sumamente bajo en comparación con el proceso real y por ende el valor monetario de este será mínimo para el nivel de producción que maneja el horno (Climate & Clean Air Coalition, 2015).

**Tabla 57. Costos**

| Costo Combustible / Mes (COP) | Costo Agua / Mes (COP) | Renta de Alquiler del Sector el Plan de Retroexcavadora / Mes (COP) | Costo Trabajadores / Mes (COP) |
|---|---|---|---|
| $ 54.756.000 | $ 256.665.500 | $ 2.160.000 | $ 27.343.470 |

Nota: Elaborada por el Autor

Ya con la determinación de costos realizada solo se prosiguió con la misma metodología desarrollada a lo largo de este capítulo elevando dicho valor hasta un periodo anual de producción (Tabla 58) y realizando la sumatoria para establecer el costo total (Tabla 59).

**Tabla 58.**

| Costo Combustible / Mes (COP) | Costo Agua / Mes (COP) | Renta de Alquiler del Sector el Plan de Retroexcavadora / Mes (COP) | Costo Trabajadores (COP) |
|---|---|---|---|
| $ 657.072.000 | $ 3.079.986.000 | $ 25.920.000 | $ 328.121.640 |

Nota: Elaborada por el Autor

**Tabla 59. Total egresos**

| TOTAL EGRESOS (COP) |
|---|
| $ 4.091.099.640 |

Nota: Elaborada por el Autor

**b) Ingresos.** Para concluir con la determinación de la ganancia neta (Tabla 61) se estableció el nivel de ingresos que se tendría al vender todas las unidades de ladrillo producidas a lo largo del año, para las que se propuso un costo 200% más elevado del que se tiene en el proceso real, debido a la alta calidad del producto a razón de la utilización de uno de los hornos con mejores características en lo que respecta a esta actividad industrial (Tabla 60).

**Tabla 60. Valores unitarios**

| Valor Unidad de Ladrillo (COP) | Ingresos por Venta Unidades de Ladrillo / Quema | Ingresos por Venta Unidades de Ladrillo / Año |
|---|---|---|
| $ 600 | $ 534.545.508 | $ 6.414.546.096 |

Nota: Elaborada por el Autor

Con los datos obtenidos en cuanto a las ganancias netas de las Tablas 61 y 62 se observa un margen de utilidad mayor en la propuesta individual, ya que se obtendrían aproximadamente $476.440.682 anualmente con la implementación del horno zigzag, mientras que con el túnel el lucro sería de $258.160.717 anuales por microempresa. Sin embargo, es necesario tener en cuenta también el factor ambiental que para el caso del ultimo horno en mención tiene una

eficiencia mucho mayor, lo que reduciría los impactos ambientales negativos que se generan por la actividad ladrillera.

**Tabla 61. Ganancias para las nueve microempresas**

| Ganancias para las 9 Microempresas | |
|---|---|
| **Ganancia Neta Mensual (COP)** | Ganancia Neta Anual (COP) |
| $ 193.620.538 | $ 2.323.446.456 |

Nota: Elaborada por el Autor

**Tabla 62. Ganancias / Microempresas**

| Ganancia/Microempresa | |
|---|---|
| **Ganancia Neta Mensual (COP)** | Ganancia Neta Anual (COP) |
| $ 21.513.393 | $ 258.160.717 |

Nota: Elaborada por el Autor

***8.3.2.2 Retorno de la Inversión*.** Para el desarrollo de este aparte primero fue necesario realizar una proyección de los costos de implementación de los hornos tipo zigzag y túnel los cuales hacen parte de las propuestas individual y colectiva respectivamente. Este cálculo se realizó teniendo en cuenta la cartilla de especificaciones técnicas del horno Zigzag (CAEM, 2015) realizada por EELA en la que se estimó el precio para el año 2015 en 165.000 USD (Tabla 64) y el documento de oportunidades para reducir las emisiones contaminantes SLCPS en el subsector de producción de ladrillos en Colombia de CAEM (CAEM & Universidad Autónoma Metropolitana de México, 2013) dando un valor a 2011 de $COP 2.367.959.390 para el horno tipo túnel (Tabla 63). Con estos datos se prosiguió a la mencionada proyección teniendo en cuenta la variación anual del índice de costos para la construcción pesada.

La proyección del valor de los dos hornos se realizó por medio de la utilización del índice de costos de la construcción pesada (ICCP) el cual es un instrumento estadístico que permite conocer el cambio porcentual del precio de diversos factores que intervienen en la construcción de obras, que para el caso de esta estimación fueron; materiales, mano de obra y obras de explanación.

**Tabla 63. Proyección Horno tipo túnel**

| Proyección Horno Tipo Túnel. | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Año | **2011** | **2012** | **2013** | **2014** | **2015** | **2016** | **2017** | **2018** |
| Valor (COP) | $ 2.367.959.390 | $ 2.490.909.103 | $ 2.543.716.376 | $ 2.620.204.514 | $ 2.701.524.583 | $ 2.814.590.891 | $2.916.189.804 | $ 3.041.585.965 |
| ICCP | - | 5.19% | 2.12% | 3.01% | 3.10% | 4.19% | 3.61% | 4.3% |

Nota: Elaborada por el Autor

**Tabla 64. Proyección Horno Tipo Zigzag**

| Proyección Horno Tipo Zigzag. | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Año** | **2015** | **2016** | **2017** | **2018** |
| Valor | $ 452.595.000 | $ 471.537.357 | $ 488.558.546 | $ 509.566.564 |
| ICCP | - | 4.19% | 3.61% | 4.3% |

Nota: Elaborada por el Autor

A partir de los datos anteriores y con el propósito de determinar el retorno de la inversión se comienza calculando el "*periodo de payback o periodo de recuperación de la inversión*" en que se estimará el tiempo en el que se dará la recuperación de la inversión económica inicial para cada una de las dos propuestas de reconversión tecnológica para de esta forma la rentabilidad de los dos proyectos en una posible ejecución.

Para dicho procedimiento se determinan 2 factores, el flujo de caja y el flujo acumulado del proyecto, los cuales están establecidos por el costo de la inversión y las ganancias netas halladas anteriormente las que se obtendría tras la aplicación de la misma (Tabla 65 y 66).

**Tabla 65. Flujos de caja Horno Túnel**

| Flujos de Caja Horno Tipo Túnel | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Año** | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| **Flujo de Caja** | -$ 3.041.585.965 | $ 2.323.446.456 | $ 2.323.446.456 | $ 2.323.446.456 | $ 2.323.446.456 |
| **Flujo de Caja Acumulado** | -$ 3.041.585.965 | -$ 718.139.509 | $ 1.605.306.947 | $ 3.928.753.403 | $ 6.252.199.859 |

Nota: Elaborada por el Autor

**Tabla 66. Flujo de caja Horno ZigZag**

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Flujo de Caja** | -$ 509.506.564 | $ 476.440.862 | $ 476.440.862 | $ 476.440.862 | $ 476.440.862 |
| **Flujo de Caja Acumulado** | -$ 509.506.564 | -$ 33.065.702 | $ 443.375.160 | $ 919.816.022 | $ 1.396.256.884 |

Nota: Elaborada por el Autor

Ya con estos resultados es posible calcular el periodo de payback por medio de la siguiente formula en la que F.A es flujo de caja acumulado mientras que F.C es flujo de caja.

$$P.de\ Payback \quad =$$

$$(Último\ Periodo\ de\ F.A\ negativo) + (\frac{Valor\ Absoluto\ del\ último\ F.A\ \ negativo}{Valor\ F.C\ en\ el\ siguiente\ periodo})$$

Fuente: (Rodríguez, 2018)

A partir de la aplicación de la formula se determinaron los periodos de payback para el horno tipo túnel y zigzag respectivamente obteniendo un retorno de la inversión en un tiempo considerablemente corto para lo que representaría la implementación de estas nuevas tecnologías (Tabla 67).

**Tabla 67. Periodo de Payback**

| Periodo de Payback (Años) | |
|---|---|
| **Horno Tipo Túnel** | **Horno Tipo Zigzag** |
| 1.31 | 1.07 |

Nota: Elaborada por el Autor

Concluido el análisis económico con la estimación del periodo de retorno de la inversión inicial de las dos propuestas de implementación de proyectos de reconversión tecnológica, basados en las necesidades de los empresarios que pertenecen al Sector el Plan, es posible inferir que la posibilidad para una futura inversión en nueva tecnología con un margen creciente del nivel productivo y financiero tiene una viabilidad significativa ya que el funcionamiento de las microempresas de momento tiene una eficiencia bastante pobre si se analiza el proceso

productivo a nivel de recursos, ingresos, gastos y condiciones económicas en las que se encuentran tanto dueños como empleados. Además de lo anterior es necesario rescatar que a pesar de que la inversión inicial para ambos proyectos representa un monto relativamente alto el costo-beneficio a nivel monetario también lo es, por lo cual al mediano plazo se generaría un lucro importante a nivel empresarial.

Las afirmaciones anteriores se justifican debido a que los procesos ideales propuestos tienen una productividad significativamente más amplia de la de los reales, con una obtención de producto de mejor calidad durante el transcurso de todo el año a través de la utilización de menos combustible por lo que son procesos realmente eficientes.

Igualmente, cabe señalar que de esta actividad dependen totalmente tanto los dueños de las microempresas como los empleados del sector El Plan, quienes manifestaron inconformidad con la utilidad que se obtiene actualmente por el desarrollo del proceso productivo, ya que con este dinero apenas pueden satisfacer sus necesidades básicas y las de sus familias, teniendo en cuenta que en su mayoría por trabajador dependen de 3 a 5 personas.

Además de esto el contexto en el que se desarrolla el proceso de elaboración de ladrillo hace que el riesgo de adquirir algún tipo de enfermedad respiratoria aumente cuando la población se encuentra expuesta permanentemente a los gases que se emiten principalmente en el proceso de cocción.

Respecto a lo anterior la población se mostró predispuesta a hacer parte de proyectos que tengan por objeto la implementación de nuevas tecnologías dentro de su proceso, que les permita acceder a nuevos mercados con mejores oportunidades económicas.

Por otra parte cabe la posibilidad de profundizar más en el análisis financiero con el fin de analizar muchas más variables al momento de evaluar la construcción de los hornos, como el costo de capital de trabajo y el valor de las tierras en el caso de no contar con un terreno adecuado para realizar la actividad de extracción, con el objetivo de que cada vez se encuentre un margen de error mucho menor en cuanto a la determinación de los valores monetarios para la elaboración de estas nuevas tecnologías.

Para finalizar con el desarrollo de este capítulo se diseñaron las propuestas de reconversión tecnológica, por medio de la utilización de un software de diseño, del cual se obtuvieron las imágenes anexas en formato DWG que tienen esquematizadas medidas estándar para cada uno de los hornos, igualmente se establece la comparación de ambas propuestas en cuanto a

emisiones, consumo energético, producción, costo de implementación y el retorno de esta inversión (Tabla 68).

**Tabla 68. Comparación de propuestas de reconversión tecnológica**

| Especificaciones Técnicas | Horno tipo Túnel | Horno tipo Zigzag |
|---|---|---|
| **Largo (m)** | 60 | 12 |
| **Altura (m)** | 3 | 2,5 |
| **Ancho (m)** | 12 | 6 |
| **Emisiones PM 10 (Kg/año)** | 10785,76 | 9278,64 (por 9 hornos) |
| **Emisiones NOx (Kg/año)** | 1848,06 | 1589,85 (por 9 hornos) |
| **Emisiones SO2 (Kg/año)** | 7625,94 | 6560,55 (por 9 hornos) |
| **% de Emisiones Evitadas** | 60% | 66% |
| **Costo de Implementación (COP)** | $3.041.585.965 | $509.566.564 |
| **Tiempo de retorno de la inversión (años)** | 1,31 | 1,07 |

Nota: Elaborada por el Autor

Con base a los resultados expuestos fue posible determinar que para la situación actual del Sector El Plan en los aspectos ecológico, económico y social, la propuesta más apropiada seria la implementación de un horno zigzag, ya que la inversión inicial no sería tan alta comparada con el túnel y además el retorno de esta seria en un tiempo menor, asimismo las emisiones estimadas en serían menores en el caso de que se construyeran 9 hornos zigzag en reemplazo de los hornos fuego dormido que se encuentran actualmente.

## 9. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de diagnóstico del proyecto, se logró determinar el estado actual de los aspectos ecológico, económico y social de la industria de elaboración de ladrillo por métodos artesanales, ubicada en el Sector El Plan del municipio de Nemocón. En relación con lo anterior se determinó que las actividades desarrolladas por las nueve unidades productivas generan una alta cantidad de emisiones de gases contaminantes, alto consumo de combustible y una baja producción debido a que se cuenta con tecnologías rudimentarias y obsoletas.

En su totalidad las personas que forman parte directa (trabajadores) o indirecta (familias de trabajadores) del Sector El Plan dependen de la actividad ladrillera como sustento para satisfacer sus necesidades básicas.

Es primordial realizar asistencia técnica dentro del sector el plan que permita implementar algunas de las buenas prácticas operativas planteadas, para de esta manera hacer más eficiente el sistema productivo.

La metodología propuesta fue eficaz debido ya que esta permitió dar cumplimiento a los objetivos planteados dentro de la investigación, partiendo desde lo más general (fase de diagnóstico y revisión bibliográfica) hasta lo más particular (diseño de propuestas de reconversión tecnológica).

La eficiencia del proceso actual de elaboración de ladrillo por métodos artesanales es de tan solo el 56% debido a que los hornos a fuego dormido son una tecnología obsoleta si se comparan con las que ya se encuentran en funcionamiento dentro del mercado.

La propuesta del horno Zigzag es la que tiene mejores características para la implementación en el Sector El plan, si se tienen en cuenta los aspectos ecológico y económico, ya que además de reducir en un 66% las emisiones de gases contaminantes tienen una utilidad significativa que permitiría un retorno de la inversión en un año aproximadamente.

La información para establecer un diseño estandarizado del horno tipo zigzag es limitada en lo que respecta a las dimensiones del mismo, por lo que es necesario replantear el diseño para la propuesta que involucra este tipo de tecnología.

Identificar y comprender las diferentes variables que se dan en el proceso de elaboración de ladrillo por métodos artesanales, permitió plantear una serie de alternativas por medio de la aplicación de diferentes herramientas adquiridas a lo largo de la carrera de Ingeniería Ambiental, las cuales están enfocadas a la disminución de impactos ambientales negativos, el reconocimiento de oportunidades que fomenten el progreso económico y la búsqueda de mejores condiciones de vida de aquellos que hacen parte del desarrollo de esta actividad.

A pesar de que la propuesta individual presento mejores resultados, es necesario continuar con la evaluación de la posibilidad de crear una asociación entre los empresarios del área de estudio, que les permita facilidades dentro del desarrollo de su actividad no solo en temas de producción sino en lo que respecta a la apertura de nuevos mercados y a los beneficios para la adquisición de materias primas e insumos.

Existe una viabilidad alta de implementar las oportunidades de producción más limpia orientadas a la reconversión de tecnología en los chircales del sector El Plan de acuerdo con los resultados obtenidos en los aspectos ecológicos (generación de emisiones y residuos), económicos (inversión, periodo de retorno), técnicos (producción, consumo energético) y sociales (ingresos, salud).

## 10. Recomendaciones

Se recomienda promover la continuación del estudio de las dos propuestas de reconversión planteadas, a través de un alcance más específico en lo que respecta al funcionamiento e implementación de los hornos, para de esta manera generar un acercamiento significativo con las diferentes organizaciones que puedan financiar este tipo de proyectos como CAEM, FINDETER, EELA, entre otras.

Promover alternativas tecnológicas que reduzcan los impactos ambientales negativos y además produzcan un crecimiento económico que mejore la calidad de vida aumentando la eficiencia del proceso de elaboración de ladrillo por métodos artesanales.

Realizar la asociación entre los ladrilleros del Sector El Plan con el objeto de acceder a nuevos mercados, a través de la implementación de tecnologías y buenas prácticas dentro del proceso productivo que reduzcan los costos y aumenten la utilidad.

Los empresarios deben replantear el cambio del combustible (carbón) que actualmente se usa para el desarrollo productivo por algún tipo de energía limpia como la biomasa que reduzca los costos relacionados a impuestos o requerimientos ambientales.

Evaluar la posibilidad de realizar la cuantificación de emisiones por mediciones directas para todos los gases que se producen tras la actividad ladrillera con el objeto de tener datos mucho más exactos.

Las entidades públicas y privadas deberán continuar con los esfuerzos para fomentar el desarrollo de proyectos relacionados con la reconversión de tecnologías y buenas prácticas empresariales del sector Ladrillero.

## Referencias Bibliográficas


Alcaldía Municipal Nemocón. (2018). *Nuestro Municipio*. Obtenido de http://www.nemocon-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio

Arango, A., & Rodríguez, H. (2017). *Análisis de las emisiones de Contaminantes Asociados a la Fabricación de Ladrillos y Propuesta de Reconversión Tecnológica (tesis de posgrado).* Bogotá - Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2006). *Manual de Gestión Ambiental Sector de Ladrilleras.* Medellín.

Arias, J. (2017). *Producción Más Limpia (Clase Magistral).* Bogotá D.C.: Universidad El Bosque.

CAEM & Universidad Autónoma Metropolitana de México. (2013). *Oportunidades para reducir las emisiones contaminantes SLCPS en el sub-sector de producción de ladrillos en Colombia.* Bogotá.

CCB. (2015). *Cámara de Comercio de Bogotá . Promueve articulación de actores del sector ladrillero para incidir en la política pública.* . Bogotá.

Cepal. (2016). *Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Rio +20. El futuro que queremos. Naciones Unidas – CEPAL*. Obtenido de https://www.cepal.org/rio20/

Cepal. (2018). *Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Protocolo de Kyoto. Observatorio del Principio 10 en América Latina y el Caribe*. Obtenido de https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/protocolo-kyoto-la-convencion-marco-cambio-climatico

Conpes 3344. (2005). *Consejo Nacional de Política Económica y Social. Lineamientos para la formulación de la politica de prevención y control de la contaminación del aire.* Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.

Constitución Política de Colombia. (1991). Bogotá: Presidencia de la República de Colombia.

Corporación Ambiental Empresarial . (2015). *Inventario Nacional del Sector Ladrillero Colombiano.* Bogotá.

Decreto 1076 . (2015). *Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.* Bogotá: Congreso de la República de Colombia.

Decreto 948. (1995). *Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73,74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control* . Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente .

Decreto Ley 2811. (1974). *Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.* Bogotá: Presidencia de la República.

Ecocarbón, & Universidad Pontificia Bolivariana. (1998). *Hornos Ladrilleros a Carbón.* Medellin.

EELA. (2013). *Cartilla de producción mas limpia para ladrilleras artesanales. Presentation.* La Paz.

EELA. (2015). *Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras de América Latina para mitigar el Cambio Climático. Manual de hornos Eficientes en la Industria Ladrillera.*

EPA. (1995). *United States Environmental Protection Agency. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors.* Obtenido de https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors

Fuchs, L. (2016). *Energy Efficiency and emissions of artisanal Brick kilns in Peru. Pregrado. University of applied Science and Arts Northwestern Switzerland School of Engineering.* Suiza: University of applied Science and Arts Northwestern Switzerland School of Engineering.

Gómez, S ; Carreño, D & Rojas, M. (2015). *Reconversión tecnológica en el sector productivo artesanal de hornos de ladrillo y cal para reducir la contaminación atmosférica en el valle de Sogamoso (Boyacá, Colombia).* Bogotá: Virtualpro.

Greentech Knowledge Solutions. (2012). *Brick kilns performance assesment & a Roadmap for cleaner brick production in India.* New Delhi.

Hernández Sampieri, R; Fernández, C & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación.* México D.F.: McGraw Hill.

Jaimes, C., & Salgado, F. (2015). *Taller transferencia de Conocimiento mediciones de Carbono negro.* Bogotá.

Ley 629. (2000). *Por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997* . Bogotá: Congreso de la República de Colombia.

Ley 64. (1994). *Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992.* Bogotá: Congreso de la República de Colombia.

Ley 9. (1979). *Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.* Bogotá: Congreso de la República de Colombia .

Ley 99 . (1993). *Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.* Bogotá: Congreso de la República.

Lozano, M & Gonzalez, S. (2018). *Uso de residuos ceramicos en la producción de Ladrillos de Arcillas cocidos del sector Alfarero de Candelaria* . Cali.

Mendoza. (2018). *Producción y Consumo Sostenible*. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/154-plantillaasuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-7

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (2018). *Convención de Viena y Protocolo de Montreal*. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1705-plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-sin-galeria-69#enlaces

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Agenda 21, Colombia, 20 años siguiendo la Agenda 21.* Bogotá: Milenio Editores e Impresores E.U.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Guía para la Elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas/ Gaitán, Mauricio & Cadenas, Paula- Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana.* Bogotá.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial . (2010). *Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación Atmosférica generada por fuentes fijas.* Bogotá.

Moros, A ; Santacoloma, B & Sánchez, L. (2004). *Rediseño de procesos productivos mediante reconversión tecnológica de las pequeñas empresas ladrilleras ubicadas en el Parque minero Industrial del Mochuelo.* Bogotá: Universidad Javeriana.

ONU. (1972). *Organización de las Naciones Unidas. Declaración de Estocolmo sobre el Medio Ambiente Humano.* Estocolmo.

ONU. (1992). *Organización de las Naciones Unidas. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.* Ginebra - Suiza.

ONU. (2015). *Organización de las Naciones Unidas. Acuerdo de París. Naciones Unidas.* París.

Piñeros, L., & Rodríguez, D. (2008). *Aplicación del modelo ISC aermod para determinar los niveles de incumplimiento de la norma de calidad del Aire para material particulado PM10 en el Sector Industrial de Patio Bonito en el municipio de Nemocón.* Bogotá: Universidad de la Salle.

PNUMA . (2001). *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono. Secretaría del Ozono.* Suiza.

Pontificia Universidad Católica del Perú. (2012). *Estudio de análisis de ciclo de vida comparativo entre ladrillos artesanales y ladrillos mecanizados. estudio de análisis de ciclo de vida comparativo entre ladrillos artesanales y ladrillos mecanizados.* Perú.

Reklaitis, G. (1986). *Balances de Materia y Energía.* México D.: Nueva Editorial Interamericana.

Resolución 2254. (2017). *Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.* Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Resolución 610. (2010). *Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006.* Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Resolución 619. (1997). *Por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.* Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente.

Resolución 760. (2010). *Por la cual se adopta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas.* Bogotá: Ministro de ambiente, vivienda y desarrollo territorial,.

Resolución 909. (2008). *Por la cual se establecen las normas y est ándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.* Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Universidad de los Andes & University College London. (2013). *Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia.* Bogotá.

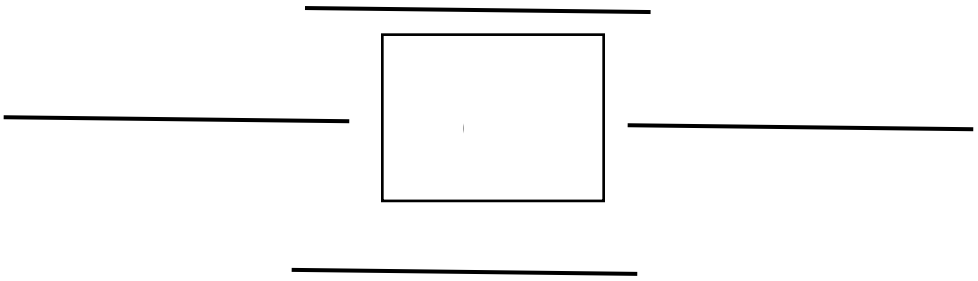
Universidad Pontificia Bolivariana. (2010). *Inventario de Emisiones Atmosféricas en el Valle de Aburra. Medellín*. Obtenido de

http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/lsdocPlandedescontaminacion/Inventario%20de%20emisiones.pdf

Worldwatch Institute. (2016). *Impacto ambiental*. Obtenido de http://www.worldwatch.org/

# ANEXOS

**ANEXO 1.** Formato Cuestionario

<table>
<tr><th colspan="2">1. DATOS</th></tr>
<tr><th colspan="2">1.1. GENERALES</th></tr>
<tr><td colspan="2">1.1.1. Nombre de la empresa:</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.1.2. Calidad de título de la propiedad: (x)<br>Propietario ____ Arrendatario ____ Poseedor ____</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.1.3. Nombre de la persona encargada de la actividad comercial:<br>_____</td></tr>
<tr><td>1.1.3.1. Escolaridad: (x)<br>( ) Primaria ( ) Bachillerato ( ) Técnico ( ) Tecnólogo<br>( ) Profesional ( ) Posgrado<br>( ) Educación no formal (Cursos, diplomados, etc.)</td><td>1.1.3.2 ¿Está vinculado al sistema de seguridad social integral?<br>( )SI ¿Cuál? _____<br>( )NO</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.1.4. Nombre de la persona encuestada:</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.1.5. Estrato:</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.1.6. ¿Cuáles servicios públicos tiene?<br>( ) Acueducto ( ) Gas natural<br>( ) Alcantarillado ( ) Energía eléctrica</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.1.7. Coordenadas geográficas: E: N: Altitud:</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.1.8. Fronteras físicas:<br>  </td></tr>
<tr><th colspan="2">1.2. ADMINISTRATIVOS</th></tr>
<tr><td colspan="2">1.2.1. ¿Cuál es la antigüedad de su fábrica?</td></tr>
</table>

( ) Entre 1 y 5 años

( ) Entre 5 y 10 años

( ) Entre 10 y 20 años

( ) más de 20 años

1.2.2. ¿Depende económicamente de los ingresos de la fábrica?

( ) SI ( ) NO

Si su respuesta es **Negativa** especifique cuál es su fuente de ingreso

¿Cuál? _____

1.2.3. ¿Cuántos trabajadores hay dentro del proceso?

MUJERES _____ HOMBRES _____

| GENERO | PROCESO PRODUCTIVO | DIRECTO | INDIRECTO | HORAS/ DÍA | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|
| **Hombres** | Explotación y Extracción | | | | |
| | Maduración y Preparación | | | | |
| | Moldeo y Extrusión | | | | |
| | Secado | | | | |
| | Horneado y Cocción | | | | |
| | Enfriamiento | | | | |
| | Descargue | | | | |
| **Mujeres** | Explotación y Extracción | | | | |
| | Maduración y Preparación | | | | |
| | Moldeo y Extrusión | | | | |
| | Secado | | | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Horneado y Cocción | | | | | |
| | | Enfriamiento | | | | | |
| | | Descargue | | | | | |
| | **Total** | | | | | | |

## 2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

### 2.1INFORMACIÓN TECNOLÓGICA

2.1.1. ¿Cuántos hornos tiene en su predio? _____

2.1.2. Diligencie la siguiente tabla acorde a las características tecnológicas del/los horno(s):

| **D** | **Tipo de Horno** | **Antigüedad [años]** | **Geometría del Horno Circular (C)** | **Rectangular (R)** | **Área aprox. [$m^2$]** | **Altura aprox. [m]** | **Tipo de alimentación de combustible** | | **Medición de temperatura (Termocuplas Termómetros)** | | **Tipo de mantenimiento Correctivo (C) Preventivo (P)** | | **Frecuencia de mantenimiento (Meses)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Manual | Automático | I | O | | | |
| | | | | | | | Manual | Automático | I | O | | | |
| | | | | | | | Manual | Automático | I | O | | | |
| | | | | | | | Manual | Automático | I | O | | | |
| | | | | | | | Manual | Automático | I | O | | | |

2.1.3. ¿Tiene usted conocimiento acerca de las buenas prácticas y mejoras operativas que se pueden implementar en su proceso productivo?

( ) SI ( ) NO

Si su respuesta es afirmativa ¿Cuál fue el medio por el que accedió a esta información?

( ) Internet ( ) Capacitaciones ( ) Implementación por parte de otro industrial

( ) Otro ¿Cuál?

_____

2.1.4. ¿Ha realizado modificaciones/reconversiones tecnológicas dentro de la fábrica en los últimos años?

( ) SI ( ) NO

Si su respuesta es afirmativa ¿Cuál fue su motivación? ¿Qué tipo de modificación? ¿A qué costo económico?

| MOTIVACIÓN | TIPO MODIFICACIÓN TECNOLÓGICA | COSTO (PESOS) |
|---|---|---|
| ( ) Económica<br>( ) Salud<br>( ) Ambiental<br>( ) Calidad de la producción<br>( ) Presión de la autoridad<br>( ) Seguridad | ( ) Estructural<br>( ) Puertos de muestreo.<br>( ) Sistemas de combustión.<br>( ) Reconversión<br>( ) Aislamiento térmico<br>( ) Sistemas de medición | ( ) Menos de un millón<br>( ) De 1 a 5 millones<br>( ) De 6 a 10 millones<br>( ) De 11 a 20 millones<br>( ) Más de 20 millones |

2.1.5. Ha identificado alguna de estas problemáticas dentro del proceso productivo:

( ) Fugas ( ) Consumo elevado de combustible ( ) Baja capacidad productiva

( ) Mala calidad del producto ( ) Humedad en piezas ( ) Gran cantidad de emisiones al aire

( ) Transferencia de calor ( ) Incremento en las horas de quemado ( ) Combustible no quemado

2.1.6 ¿Ha estado su horno fuera de servicio por fallas, roturas o mantenimiento?

( ) SI ( ) NO

2.1.6.1 Si su respuesta es afirmativa ¿Cuánto tiempo ha estado su horno fuera de servicio?

_____ Días

2.1.6.2 Teniendo en cuenta la frecuencia de Mantenimiento.

¿Cuál es el valor económico que esto le representa a usted?

_____ COP

2.1.7. ¿Ha considerado el cambio o la modificación del horno que usa actualmente?

( ) SI ( ) NO

2.1.7.1 Si su respuesta es **Afirmativa**, indique en la siguiente tabla las principales características del nuevo horno.

| **COMBUSTIBLE** | | **TIPOLOGÍA DE HORNO** | | **CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN** | |
|---|---|---|---|---|---|
| Gas | | Horno Colmena | | Aumento | |
| Carbón | | Horno Hoffman | | Dejar igual | |
| GLP | | Horno Túnel | | Reducir | |
| Eléctrica | | No sabe/no responde | | No sabe/no responde | |
| De leña | | | | | |
| ACPM | | | | | |
| Biomasa | | | | | |
| No sabe/no responde | | | | | |

2.1.8. Marque con una (X) los equipos auxiliares con los que cuenta en su proceso productivo:

( ) Carbojets

( ) Tornillo sin fin (Stocker)

( ) Ventiladores

( ) Secadores

( ) Sistemas de Micronizado

( ) Ninguno

( ) Otros _____

## 2.2.INFORMACIÓN PRODUCTIVA

2.2.1. Diligencie la siguiente tabla con las características productivas del/los horno(s)

| ÍTEM | MAX. NÚMERO DE PIEZAS HORNEADAS | PESO APROX. DE LAS PIEZAS (KG) | DURACIÓN HORNEADA (HORAS) | HORNEADAS/ MES | MESES/AÑO |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

2.2.2. ¿De dónde obtiene el material (arcillas) para la elaboración de los ladrillos?

_____
_____

2.2.3. ¿Cuenta con título minero para la extracción del material?

( ) SI ( ) NO

## 2.3. INFORMACIÓN ENERGÉTICA

2.3.1. Diligencie la siguiente tabla con la información de la(s) fuente(s) energética(s) del/los horno(s)

| D | Fuente de energía de los hornos | Consumo combustible | | Capacidad Calorífica | Costo (Pesos/Unidad energético) | Procedencia | Factura (Si/No) | | Almacenamiento al aire libre | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Consumo | Unidades | | | | | | | | |
| | CM / L / GN / EE / ACPM/ BM/ OTRO_____ | | | | | | I | O | I | O | A |
| | CM / L / GN / EE / ACPM/ BM/ OTRO_____ | | | | | | I | O | I | O | A |
| | CM / L / GN/ EE / ACPM/ BM/ OTRO_____ | | | | | | I | O | I | O | A |
| | CM / L / GN / EE / ACPM/ BM/ OTRO_____ | | | | | | I | O | I | O | A |
| | CM / L / GN / EE / ACPM/ BM/ OTRO_____ | | | | | | I | O | I | O | A |

| |
|---|
| Carbón mineral (CM) Leña(L) Gas Natural (GN) Energía eléctrica (EE) ACPM (ACPM) Biomasa (BM) |
| 2.3.2. ¿Consume energía eléctrica en su proceso productivo?<br>( ) SI ( ) NO<br><br>_____ kWh/mes _____ Pesos/kWh |
| 2.3.3. ¿Tiene conexión a gas natural?<br><br>( ) SI ( )NO |
| **2.4. INFORMACIÓN AMBIENTAL** |
| 2.4.1. Diligencie la siguiente tabla con las características de la(s) chimenea(s) del/los horno(s) |

| tem | Forma del ducto | | Largo/ Diámetro (cm) | Ancho (cm) | ¿Cuenta con puerto de muestreo? | | de niples | ¿Niples a 90º? | | Estado visual de la chimenea | ¿Se puede realizar estudio de emisiones? | | La altura de la chimenea es superior a 3 metros de la estructura más cercana | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Rectangular | Circular | | | I | O | | I | O | | I | O | I | NO |
| | Rectangular | Circular | | | I | O | | I | O | | I | O | I | NO |
| | Rectangular | Circular | | | I | O | | I | O | | I | O | I | NO |
| | Rectangular | Circular | | | I | O | | I | O | | I | O | I | NO |
| | Rectangular | Circular | | | I | O | | I | O | | I | O | I | NO |
| | Rectangular | Circular | | | I | O | | I | O | | I | O | I | NO |

2.4.2. ¿A utilizado en algún momento algún tipo de residuo (basura) para la cocción de los ladrillos ?

( ) SI ( ) NO

Si su respuesta es **Afirmativa**, ¿Con qué periodicidad hace uso de este tipo de material para la cocción ?

( ) Frecuentemente ( ) Esporádicamente

2.4.3. ¿Qué tipo de residuos se generan dentro de la fábrica y que hace con ellos?

| TIPO DE RESIDUO | DISPOSICIÓN FINAL |
|---|---|
| CENIZAS | ( ) Acopio ( ) Reutilización ( ) Relleno sanitario ( ) Quema ( ) Comercialización |
| ESCOMBRO | ( ) Acopio ( ) Reutilización ( ) Relleno sanitario ( ) Quema ( ) Comercialización |
| PLÁSTICOS | ( ) Acopio ( ) Reutilización ( ) Relleno sanitario ( ) Quema ( ) Comercialización |
| CARTÓN | ( ) Acopio ( ) Reutilización ( ) Relleno sanitario ( ) Quema ( ) Comercialización |
| MATERIAL NO | ( ) Acopio ( ) Reutilización ( ) Relleno sanitario ( ) Quema ( ) |

| CONFORME | Comercialización |
|---|---|
| RESIDUOS QUIMICOS | ( ) Acopio ( ) Reutilización ( ) Relleno sanitario ( ) Quema ( ) Comercialización |
| RESIDUOS LIQUIDOS | ( ) Acopio ( ) Reutilización ( ) Vertimiento |

2.4.4. ¿Cuenta con algún sistema de control de emisiones?

( ) SI ¿Cuál? _____

( ) NO

3. ¿Hace parte de algún tipo de Cooperativa o Asociación empresarial o Similar?

( ) SI ( ) NO

3.1. Si su respuesta es **Afirmativa** especifique a qué Cooperativa o Asociación pertenece:

_____

3.2. Si su respuesta es **Negativa,** ¿Consideraría conveniente la creación de asociaciones empresariales en su sector?

( ) SI ( ) NO

¿Por qué?

_____

_____

_____

_____

4. ¿Pertenece o ha pertenecido a algún proyecto o programa municipal o departamental?

( ) SI ¿Cuál? _____

( ) NO

5. ¿ Tiene o ha tenido requerimientos de las autoridades ambientales o de salud?

( ) SI ¿Cuál? _____

( ) NO

6. OTRAS OBSERVACIONES Y / O CONSIDERACIONES

La información sensible (nombre, identificación, dirección de correo electrónico, dirección de residencia, número telefónico, edad, género, formación académica, producción académica y científica, preferencias e intereses) recaudada por medio de la encuesta, será manejada y guardada conforme a los lineamientos establecidos en la Ley 1581 de 2012-Habeas Data y sus Decretos Reglamentarios.

La **CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA – CAR**, ha implementado las medidas de seguridad y protección de datos personales necesarias para salvaguardar la información obtenida, evitando su pérdida, alteración y migración no autorizada.

FIRMA: FIRMA:

_____ _____

NOMBRE ENCUESTADOR: NOMBRE ENCUESTADO:

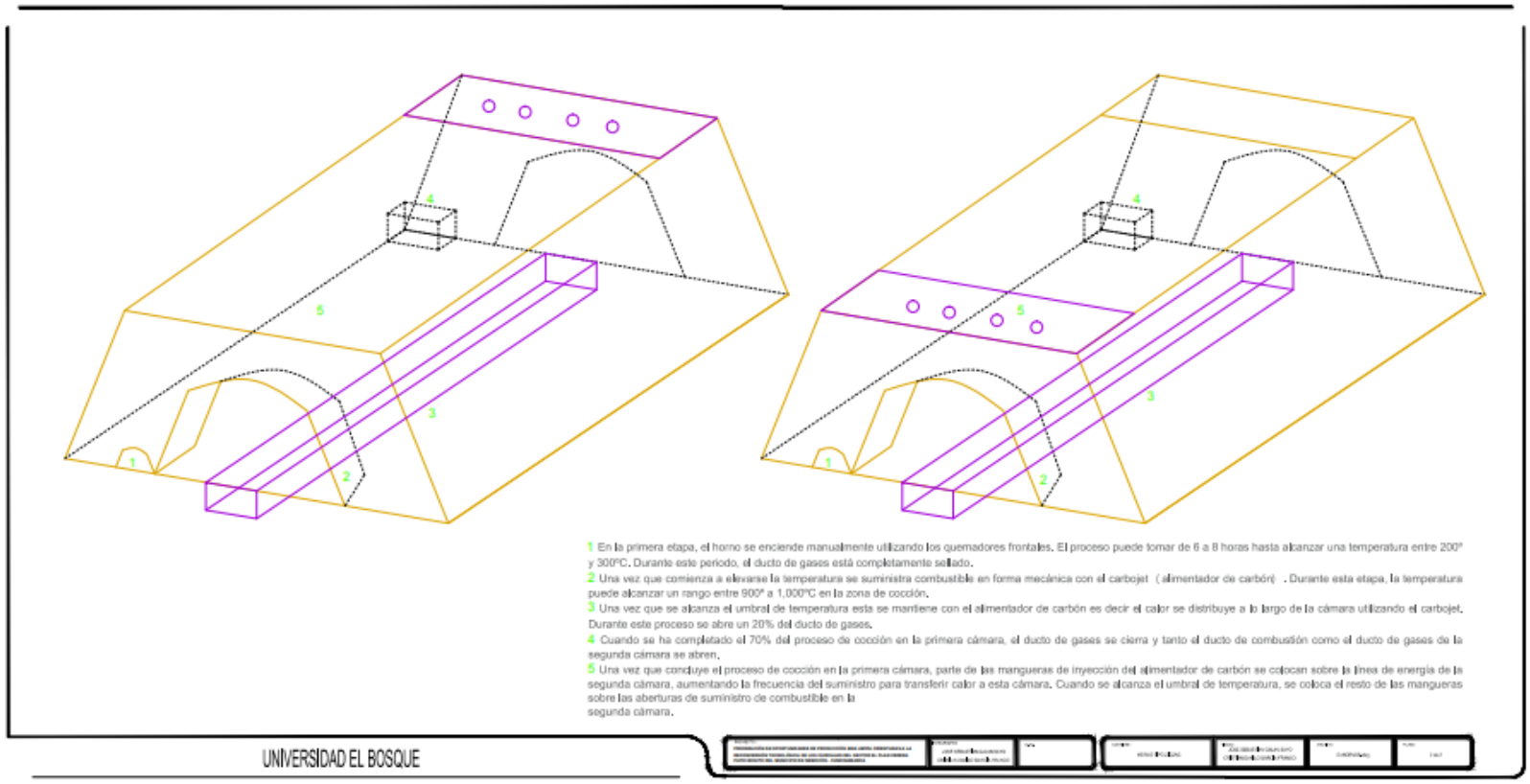
CC: CC:

FECHA REALIZACIÓN ENCUESTA: *AAA/MM/DD*

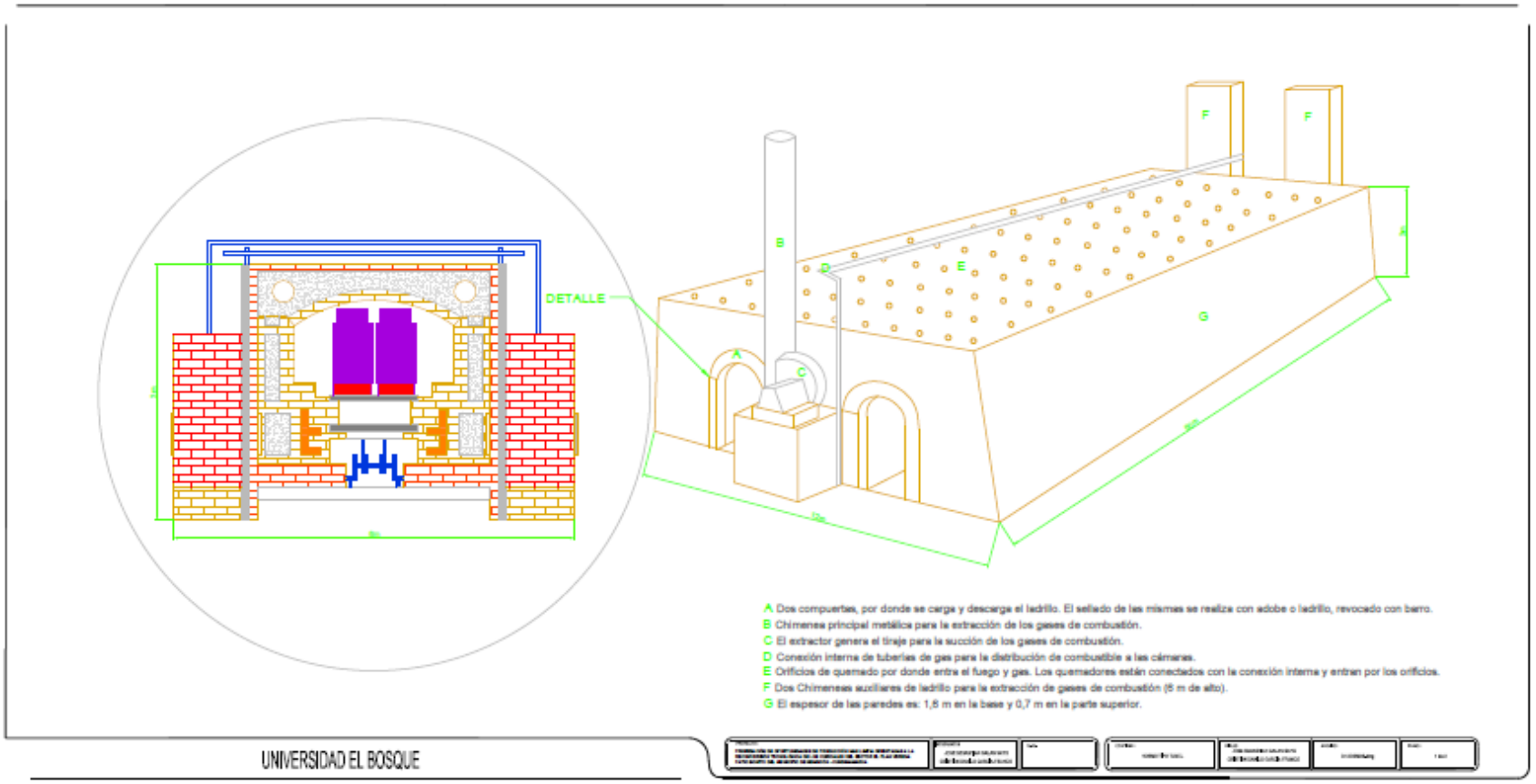
CÓDIGO ENCUESTA: *######*

**ANEXO 2.** Fotografías de visita de campo

**ANEXO 3.** Modelo elaborado de Horno ZigZag



**ANEXO 4.** Modelo elaborado de Horno Túnel



**ANEXO 5.** Diseño de Hornos en Formato .DWG