

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del
Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**EVALUACIÓN DEL HORNO TÚNEL COMO TECNOLOGÍA LIMPIA PARA LA
REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA ETAPA DE PRODUCCIÓN DE
UNA LADRILLERA MECANIZADA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA, 2020**

Tesis presentada por las Bachilleres:
Gonzales Garay, Carmen Alejandra
Pérez Álvarez, Lizeth Carolina

para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Asesor:
Mg. Chanove Manrique, Andrea Marieta

Arequipa- Perú
2021

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA AMBIENTAL
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 08 de Noviembre del 2021

Dictamen: 001979-C-EPIA-2021

Visto el borrador del expediente 001979, presentado por:

2015400402 - PEREZ ALVAREZ LIZETH CAROLINA

2013602122 - GONZALES GARAY CARMEN ALEJANDRA

Titulado:

EVALUACIÓN DEL HORNO TÚNEL COMO TECNOLOGÍA LIMPIA PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA ETAPA DE PRODUCCIÓN DE UNA LADRILLERA MECANIZADA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA 2020

Nuestro dictamen es:

APROBADO

2779 - LAZARTE ARREDONDO SONIA
DICTAMINADOR



3246 - BEJARANO MEZA MARIA ELIZABETH
DICTAMINADOR



3302 - BENEGAS LLANOS ROSARIO CAROLINA
DICTAMINADOR



DEDICATORIAS

A mis padres Patricia y Alberto, por sus enseñanzas y consejos, que me formaron para ser quien soy hoy en día; además de su amistad y apoyo a lo largo de mi vida. Todos mis logros se los debo a ellos.

A mi familia y amigos, por creer en mis capacidades e impulsarme a lograr mis metas.

A mis angelitos, por ser mi inspiración y el motivo de mis esfuerzos cada día.

Carmen Alejandra Gonzales Garay

Mi dedicación y esfuerzo es a Dios quien es mi roca y sostén y que, a pesar de las adversidades y obstáculos, la confianza en Él me hizo fuerte y valiente para alcanzar cualquier objetivo propuesto.

A mi familia y en especial a mis padres por forjar mi carácter y su apoyo incondicional en cada paso de mi vida. Y por el gran esfuerzo invertido en aportar nuestro granito de arena contra el cambio climático mediante este proyecto.

A ti, de quien aprendí mucho y me hizo ver las cosas de una manera diferente.

Lizeth Carolina Pérez Álvarez

AGRADECIMIENTO

Al M.S.c. Ing. Berly Cárdenas Pillco, por su apoyo y guía no sólo en la realización de este proyecto, sino también durante todo el proceso de nuestra formación académica.

A la M.S.c. Ing. Andrea Chanove Manrique, por sus conocimientos impartidos y por ayudarnos a resolver nuestras inquietudes.

A nuestros jurados, por su orientación y consejos que contribuyeron a la mejora de esta investigación.

A los propietarios de la fábrica, por permitirnos acceder a sus instalaciones y facilitarnos la información necesaria para poder desarrollar la presente investigación.

RESUMEN

En este estudio se tuvo como propósito la reducción de la huella de carbono en una ladrillera mecanizada en la ciudad de Arequipa, mediante la implementación de una tecnología limpia en la etapa de producción de ladrillos. Para lo cual, en primer lugar, se realizó el diagnóstico de la situación inicial de la producción de ladrillos a través de la evaluación de impactos ambientales de acuerdo con la Guía para la elaboración de la Línea Base y la Guía para la Identificación y Caracterización de Impactos Ambientales del SEIA. Además, se realizó la evaluación de la huella de carbono por medio del método de medición de indicadores ambientales de acuerdo con las Directrices del IPCC (2006); el indicador ambiental de las emisiones de GEI fue $t\ CO_2/eq$ por tonelada de ladrillo cocido, el ladrillo de referencia para la medición fue el ladrillo Hueco H-15 y el indicador de combustible fue el aceite residual R500. De acuerdo con la evaluación de impactos ambientales, se verificó que la etapa en la que se produce mayor contaminación es en la etapa de cocción de ladrillos y el componente ambiental más afectado es la atmósfera, ya que, la tecnología utilizada era poco eficiente debido a sus procesos y tipo de combustible usado. Dicha tecnología era el Horno de Tiro Invertido. Por lo cual, mediante la aplicación de una metodología de selección de alternativas (Scoring), se determinó la mejor tecnología limpia para sustituir a la inicial en la etapa de cocción de ladrillos. La tecnología elegida fue el Horno Túnel. Finalmente, se realizó la evaluación de impactos ambientales y de la huella de carbono de la tecnología limpia implementada. Los resultados evidenciaron que existe una mejora, ya que, al compararlos con los de la evaluación de la tecnología inicial se observó una reducción en cuanto a la valoración de impactos negativos de las emisiones gaseosas y PM_{10} Y $PM_{2.5}$ a la atmósfera, siendo de -60 (severo) en la tecnología inicial y reduciéndose a -24 (leve) en la nueva tecnología. Y en cuanto a la evaluación de la huella de carbono, la tecnología inicial dio un resultado de $0.51\ tonCO_2eq/ton$ ladrillo cocido y la tecnología limpia $0.077\ tonCO_2eq/ton$ ladrillo cocido. Se concluyó que la implementación de una tecnología limpia para la cocción de ladrillos redujo la huella de carbono de la ladrillera mecanizada en un 85%.

Palabras claves:

Huella de Carbono, Impacto ambiental, Horno de Tiro Invertido, Horno Túnel, Desempeño Ambiental, Eficiencia Energética.

ABSTRACT

The purpose of this study was to reduce the carbon footprint in a mechanized brick factory in the city of Arequipa, through the implementation of a clean technology in the brick production phase. For which, in the first place, a diagnosis of the initial situation of brick production was carried out by the evaluation of environmental impacts according to the Guide for the elaboration of the Base Line and the Guide for the Identification and Characterization of Environmental Impacts of the SEIA. In addition, the carbon footprint was evaluated using the environmental indicators measurement method to determine environmental performance according to the IPCC Guidelines (2006); the indicator of the environmental performance of GHG emissions was $t\ CO_2 / eq$ per ton of fired brick, the reference brick for measuring was the Hollow Brick H-15 and the fuel indicator was the Residual Oil R500. According to the environmental impact evaluation, it was verified that the phase in which more contamination occurs is in the brick firing phase and the most affected environmental component is the atmosphere, since the technology used was not very efficient due to its processes and type of fuel used. This technology was the Down Draft Kiln. Therefore, by applying an alternative selection methodology (Scoring), the best clean technology was determined to replace the initial one in the brick firing phase. The technology chosen was the Tunnel Kiln. Finally, the environmental impact and carbon footprint assessment of the clean technology implemented was carried out. The results showed that there is an improvement, since, when they were compared with those of the initial technology evaluation, a reduction is translated in terms of the evaluation of negative impacts of gaseous emissions and PM_{10} AND $PM_{2.5}$ to the atmosphere, being of -60 (severe) in the initial technology and down to -24 (mild) in the new technology. And regarding the evaluation of the carbon footprint, the initial technology gave a result of $0.51\ tonCO_2eq / ton$ fired brick and the clean technology $0.077\ tonCO_2eq / ton$ fired brick. It was concluded that the implementation of a clean brick-firing technology reduced the carbon footprint of the mechanized brick factory by 85%.

Keywords:

Carbon Footprint, Environmental Impact, Down Draft Kiln, Tunnel Kiln, Environmental Performance, Energy Efficiency.

INTRODUCCIÓN

La actividad de fabricación de ladrillos se encuentra ampliamente distribuida por todo el país; teniendo gran auge debido al incremento de la demanda de viviendas en relación con el crecimiento económico reflejado en la dinamización del sector de la construcción. Se trata de una industria en constante expansión y dinámica en el tiempo y economía, que también cuenta con una realidad en la que los efectos generados impactan de manera negativa a su entorno y la salud.

Si bien es cierto, las ladrilleras artesanales debido a su grado de informalidad y aplicación de técnicas poco desarrolladas y tradicionales son aquellas con una mayor incidencia en cuanto al impacto ambiental negativo; las ladrilleras mecanizadas gracias a estar adecuadamente formalizadas ante las entidades sectoriales correspondientes tienen un nivel de impacto ambiental menor. Esto se debe a la adopción de tecnologías desarrolladas en sus procesos y uso adecuado de sus recursos energéticos, lo que permite la obtención de productos de mayor calidad y beneficios al ambiente, ya que, tienen acceso al desarrollo de técnicas de gestión y fuentes de financiamiento. Sin embargo, el impacto ambiental generado por los efectos de sus procesos sigue siendo significativo.

La problemática ambiental que surge por la fabricación de ladrillos se basa en la ineficiencia energética de sus procesos productivos y tiene como fuente principal de contaminación la generación de emisiones gaseosas por la combustión de los hornos que inciden de manera negativa en la atmósfera. Lo que se da no sólo por la ineficiencia de dichos hornos, sino que también por el uso inadecuado de combustible para la quema.

La Huella de Carbono tiene una gran importancia en el ambiente como indicador de sostenibilidad, desempeño e impacto ambiental respecto al cambio climático, ya que, permite calcular la totalidad de gases de efecto invernadero - GEI emitidos por personas, empresas y organizaciones de manera directa o indirecta. Lo que supone una oportunidad para la implementación de planes de reducción y eficiencia, basándose en frenar y mitigar los impactos producidos por los hornos empleados, como la mejora de la tecnología, contemplando los aspectos ambiental, económico y social.

ÍNDICE

DICTAMEN APROBATORIO	ii
DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
INTRODUCCIÓN	vii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Problemática de la investigación	2
1.2 Justificación	4
1.3 Objetivos	5
1.4 Hipótesis.....	6
1.5 Exposición de las variables.....	6
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes de la investigación.....	9
2.2 Marco Teórico	18
2.2.1 Proceso de producción de ladrillos.....	18
2.2.2 Tecnología Limpia	19
2.2.3 Tipos de tecnologías en hornos	24
2.2.4 Huella de Carbono	37
2.2.5 Impacto Ambiental Ladrilleras en Perú	49
2.3 Marco Legal.....	56
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	60
3.1 Tipo y nivel de Investigación.....	61
3.2 Diseño de Investigación	61
3.2.1 Campo de verificación (ubicación y unidades de estudio)	61

3.2.2 Determinación de Población y Muestra.....	61
3.2.3 Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos	62
3.3 Métodos de la Investigación	63
3.3.1 Realización de diagnóstico de la situación inicial de la tecnología convencional – Horno de Tiro Invertido.....	63
3.3.2 Determinación de la tecnología limpia adecuada para la etapa de cocción de ladrillos mediante la metodología Scoring.....	70
3.3.3 Evaluación de la tecnología limpia implementada – Horno Túnel.....	73
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
4.1 Realización del diagnóstico de la situación inicial de la tecnología convencional – .Horno de Tiro Invertido.....	75
4.1.1 Descripción y Antecedentes.....	75
4.1.2 Descripción del área de influencia.....	76
4.1.4 Identificación de Impactos Ambientales.....	89
4.1.4 Caracterización del Impacto Ambiental de la tecnología convencional	104
4.1.5 Evaluación de la huella de carbono como indicador de GEI.....	113
4.2 Determinación de la tecnología limpia adecuada para la etapa de cocción de ladrillos mediante la metodología Scoring.....	120
4.3 Evaluación de la tecnología limpia implementada – Horno Túnel.....	127
4.3.1 Valoración del Impacto Ambiental de la tecnología limpia	127
4.3.2 Evaluación de la huella de carbono como indicador de GEI.....	136
4.3.3 Comparación de los resultados de la evaluación de impactos ambientales y huella de carbono de la tecnología inicial con la tecnología implementada.....	143
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	159
Conclusiones	160
Recomendaciones	161
REFERENCIAS.....	162
ANEXOS.....	170

ANEXO I. MATRIZ DE LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL CONESA DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO	171
ANEXO II. EVALUACIÓN EX ANTE.....	172
ANEXO III. DATOS PARA ESTIMAR EMISIONES DE CARBONO.....	180
ANEXO IV. MATRIZ DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL CONESA DEL HORNO TÚNEL	183
ANEXO V. EVALUACIÓN EX POST	184
ANEXO VI. CÁLCULO DE SCORE DE ALTERNATIVAS.....	190
ANEXO VII. ÍNDICES DE NOCIDIDAD DE COMBUSTIBLES (INC)	192
ANEXO VIII. INFORME DE MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL	193
ANEXO IX. HOJAS DE SEGURIDAD DE LOS COMBUSTIBLES.....	207
ANEXO X. DATOS PARA EL BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO Y HORNO TÚNEL	225
ANEXO XI. PANEL FOTOGRÁFICO	226

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	7
Tabla 2. Cuadro resumen comparativo de Hornos	36
Tabla 3. Marco Legal.....	56
Tabla 4. Valores de importancia.....	71
Tabla 5. Ponderación de criterios según importancia	71
Tabla 6. Valores de satisfacción de alternativas según criterio	72
Tabla 7. Emisiones de fuentes de área de la ciudad de Arequipa.	82
Tabla 8. Aspectos e Impactos ambientales por actividad de cada proceso.....	96
Tabla 9. Índice de Aspectos Ambientales Significativos.....	98
Tabla 10. Lista de Chequeo.....	99
Tabla 11. Matriz de Identificación de Impactos Ambientales	101
Tabla 12. Componentes ambientales.....	103
Tabla 13. Lista de Chequeo en la etapa de operación con el funcionamiento del Horno de tiro invertido.....	105
Tabla 14. Matriz resumen de Importancia Conesa con el Horno de tiro invertido.....	106
Tabla 15. Descripción de Impactos Ambientales en el proceso de cocción de ladrillos con el Horno de tiro invertido.....	109
Tabla 16. Determinación del indicador ambiental del Horno de tiro invertido.....	114
Tabla 17. Valoración de alternativas propuestas por criterio	120
Tabla 18. Ponderación de alternativas.....	121
Tabla 19. Matriz resumen de Importancia Conesa con el Horno Túnel	128
Tabla 20. Descripción de Impactos Ambientales en el proceso de cocción de ladrillos con el Horno Túnel	130
Tabla 21. Determinación del indicador ambiental	137
Tabla 22. Matriz resumen de Importancia Conesa Cocción.....	143
Tabla 23. Emisiones de carbono, valor calorífico y contenido de sulfuro de acuerdo al combustible.....	147
Tabla 24. Reducción del indicador ambiental.....	149

Tabla 25. Consumo de combustible y producción de la evaluación Ex ante y Ex post	150
Tabla 26. Comparación de la Eficiencia Energética y consumo de combustibles de ambos hornos.....	152
Tabla 27. Resultados de medición del nivel de Aceite R500 medido en el tanque elevado N°1	173
Tabla 28. Resultados de medición del nivel de Aceite R500 medido en el tanque elevado N°2	173
Tabla 29. Volumen total de combustible R500 consumido	173
Tabla 30. Tamaño de los tanques contenedores de Aceite R500	173
Tabla 31. Mediciones de los ladrillos hueco H15	176
Tabla 32. Resultados de las mediciones de la evaluación del Horno de Tiro Invertido	177
Tabla 33. Coeficientes de medición para hallar la energía liberada por combustible	178
Tabla 34. Coeficiente de medición para hallar las emisiones de GEI	179
Tabla 35. Valores de contenido de energía de combustibles fósiles (productos refinados de petróleo)	180
Tabla 36. Valores de contenido de energía de productos refinados de petróleo	181
Tabla 37. Inventario de Factores de emisión para la combustión estacionaria en las industrias energéticas	182
Tabla 38. Lectura de mediciones del consumo de combustible GLP	184
Tabla 39. Medición de empujes de vagones en un periodo de 36 h y 20 min	185
Tabla 40. Resumen del funcionamiento del Horno Túnel para la toma de mediciones	187
Tabla 41. Resultado de las mediciones de la evaluación ex post.....	187
Tabla 42. Coeficientes de medición para hallar la energía liberada por combustible	188
Tabla 43. Coeficientes de medición para hallar las emisiones de GEI.....	189
Tabla 44. Índices de nocividad de combustibles (INC) para el período 2020 - 2021	192
Tabla 45. Estaciones de monitoreo de calidad de aire.....	193
Tabla 46. Métodos de Muestreos y Análisis empleados para la Calidad de Aire	195
Tabla 47. Estándares Nacionales de Calidad de Aire para Calidad de Aire y Gases.....	196
Tabla 48. Puntos de Medición de Emisiones Atmosféricas	197
Tabla 49. Estándares de Calidad para Emisiones Gaseosas para la Industria.....	198
Tabla 50. Concentración de material particulado	199

Tabla 51. Concentración de Gases	201
Tabla 52. Registro Meteorológico.....	204
Tabla 53. Resultados de Monitoreo de Emisiones de Chimenea – mg/m³N.....	204
Tabla 54. Niveles de Gases en las Chimenea Evaluada	204

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Distribución de las emisiones por sectores en Perú del Inventario nacional de GEI. IPCC	39
Gráfica 2. Inventarios nacionales de GEI 2014.....	39
Gráfica 3. Tendencia del consumo de combustible en los sectores económicos excluyendo el sector transporte	40
Gráfica 4. Porcentajes de emisiones de contaminantes procedentes de Fuentes Fijas.....	50
Gráfica 5. Valoración de Impactos por el Horno de Tiro Invertido	108
Gráfica 6. Score de Alternativas.....	126
Gráfica 7. Valoración de Impactos del Horno Túnel.....	129
Gráfica 8. Comparación de emisiones de CO₂/Kg de ladrillo en el Horno túnel	142
Gráfica 9. Comparación de factores ambientales entre el Horno de Tiro Invertido y el Horno Túnel	145
Gráfica 10. Reducción del Indicador Ambiental (HDC).....	149
Gráfica 11. Producción de la evaluación Ex ante y Ex post.....	150
Gráfica 12. Consumo de combustible de la evaluación Ex ante y Ex post	151
Gráfica 13. Comparación de la Eficiencia Energética y consumo de combustibles de ambos hornos.....	153
Gráfica 14. Concentración Aritmética Media – PM₁₀.....	199
Gráfica 15. Concentración Aritmética Media – PM_{2.5}	200
Gráfica 16. Concentración Aritmética Media – SO₂	201
Gráfica 17. Concentración Aritmética Media – NO₂.....	202
Gráfica 18. Concentración aritmética media – CO	202
Gráfica 19. Concentración Aritmética Media – H₂S	203
Gráfica 20. Concentración de material particulado	205
Gráfica 21. Concentración de monóxido de carbono CO	205
Gráfica 22. Concentración de dióxido de azufre SO₂	206
Gráfica 23. Concentración de óxidos de nitrógeno NO_x.....	206

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de fabricación de ladrillos.....	19
Figura 2. Diagrama de funcionamiento del Horno de Tiro Invertido	25
Figura 3. Diagrama de funcionamiento del Horno Colmena.....	26
Figura 4. Diagrama de funcionamiento del Horno Paulistinha.....	27
Figura 5. Diagrama de funcionamiento del Horno Vagón.....	29
Figura 6. Diagrama de funcionamiento del Horno Cedan.....	30
Figura 7. Diagrama de funcionamiento del Horno Hoffman.....	31
Figura 8. Diagrama de funcionamiento del Horno FCBTK	32
Figura 9. Diagrama de funcionamiento del Horno VSBK.....	33
Figura 10. Distribución de temperatura a lo largo del Horno Túnel.....	34
Figura 11. Diagrama de funcionamiento del Horno Túnel.....	35
Figura 12. Flujo de calor en un horno de cocción de ladrillos.....	43
Figura 13. Mapa de ubicación de la ladrillera	77
Figura 14. Áreas de influencia de la ladrillera	81
Figura 15. Rosa de Vientos.....	83
Figura 16. Mapa Topográfico de la ladrillera	85
Figura 17. Mapa geológico de la ladrillera	86
Figura 18. Diagrama de flujo del proceso productivo	95
Figura 19. Balance de materia y energía del Horno de Tiro Invertido.....	156
Figura 20. Balance de materia y energía del Horno Túnel	157

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AA. HH	Asentamientos humanos
AID	Área de influencia directa
AII	Área de influencia indirecta
CCVC	Contaminantes climáticos de vida corta
CH ₄	Metano
CMNUCC	Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COP20	Conferencia de las partes número 20
COSUDE	Agencia suiza para el Desarrollo y la cooperación
COV	Compuesto orgánico volátil
ECA	Estándar de calidad Ambiental
EELA	Programa de eficiencia energética de Latinoamérica
EPP	Equipos de protección personal
FE	Factor de emisión
GEI	Gases de efecto invernadero
GHG	<i>Green house gases protocol</i> (protocolo de gases de efecto invernadero)
GLP	Gas licuado de petróleo
HDC	Huella de carbono
INC	Índice de nocividad de combustibles
INEI	Instituto nacional de estadística e informática
IPCC	Panel intergubernamental de cambio climático
LCA	<i>Life cycle assesment</i> (evaluación del ciclo de vida)
LCA	Línea de crédito ambiental
LMP	Límites máximo-permisibles
MINAM	Ministerio del ambiente
MINEM	Ministerio de energía y minas
N ₂ O	Óxido nitroso

NO _x	Óxidos de nitrógeno
OMS	Organización mundial de la salud
ONG	Organización no gubernamental
OPS	Organización panamericana de la salud
OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
PBI	Producto bruto interno
PM	Material particulado
PM _{2.5}	Material particulado menor e igual que 2.5 micras
PM ₁₀	Material particulado desde 2.5 a 10 micras
PNUMA	Programa de las naciones unidas para el medio ambiente
PTS	Partículas totales en suspensión
SEACE	Sistema electrónico de contrataciones del estado
SEIA	Sistema nacional de evaluación de impacto ambiental
SO ₂	Dióxido de azufre
Sox	Óxidos de azufre
UNA	Universidad nacional del altiplano
USCUSS	Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura
VC	Valor calorífico
ZAP	Zona de atención prioritaria

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Problemática de la investigación

En los últimos 5 años el sector construcción ha mostrado un crecimiento sostenido y según Global Construction Perspectives y Oxford Economics se estima que la industria de la construcción será uno de los sectores más dinámicos hasta 2030, con un crecimiento anual del 3,9% (BlackSip, 2020). Y debido a que el ladrillo de arcilla es uno de los principales materiales utilizados en la construcción, este cuenta con una alta demanda en el sector.

La producción total de ladrillos en Latino América se encuentra dividida entre un 30% y 50% dada por alrededor de 4500 ladrilleras artesanales. En el Perú, su producción está abastecida por alrededor de 15 ladrilleras industriales a una escala más grande y 2500 pequeñas ladrilleras artesanales. Siendo en tal caso, las de mayor escala y en su mayoría concentradas en la ciudad de Lima, las cuales al ser de carácter formal cuentan con herramientas de gestión ambiental. Caso contrario a las pequeñas ladrilleras que se encuentran distribuidas en el resto del país, las cuales carecen de procesos estructurados y formales, constituyendo un mayor impacto ambiental. (Febres, 2017)

La principal fuente de contaminación en este sector son los hornos utilizados en la etapa de cocción y, sobre todo, los diversos combustibles utilizados, como el carbón de piedra, aserrín, petróleo, leña, llantas, aceite quemado, entre otros. Esto se traduce en la carencia de tecnología moderna, que es ineficiente y requiere de materiales combustibles que generan gases tóxicos como óxidos de azufre, nitrógeno, monóxido de carbono, material particulado, etc. Los cuales son expulsados a través de las chimeneas al ambiente afectando la calidad del aire en donde se centran estas actividades y la población aledaña (Buitrago, et al., 2017). Según el Reporte Mundial de Calidad del Aire (2018), Perú se encuentra en el puesto 21 de los países más contaminados y debido a la ineficiente combustión energética, se encuentra en puesto 8 en Latinoamérica con 28 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de $\text{PM}_{2.5}$ que es un representativo de medida de contaminación de aire debido a su mayor impacto a la salud

que otros contaminantes atmosféricos. Y, a su vez, uno de los principales contaminantes generados en este sector (AirVisual, 2018). Según datos del MINEM sobre la emisión de partículas al aire, se tiene a la industria ladrillera como segunda fuente más contaminante por el consumo de combustibles a nivel nacional con una emisión de 3.64 mil toneladas. (INEI, 2018)

Son 4 criterios por los cuales el sector ladrillero en el Perú se encuentra limitado, la tecnología por la presencia de hornos ineficientes; los costos por los altos montos de inversión y dificultad de acceso a formas de financiamiento; la alta informalidad, y el ordenamiento territorial el cual no compatibiliza con la zonificación del emplazamiento. (Carranza, 2016)

En una escala más pequeña, todas aquellas limitaciones se pueden apreciar en nuestra ciudad. En Arequipa, se tenía un registro de más de 200 empresas donde predominaban las ladrilleras artesanales, las cuales, han ido desapareciendo los últimos años, ya que, no resultaba un negocio rentable económicamente debido al alto grado de contaminación generado, los largos tiempos de producción con respecto al limitado producto obtenido y por la ineficiencia de sus procesos que resultan en la mala calidad y resistencia del producto, sobre todo en nuestra zona que es sísmica y que se deben regir por una norma técnica.

Respecto a la ladrillera mecanizada de la presente investigación, se cuenta como tecnología inicial un horno de tiro invertido. Dicho horno de carácter intermitente se considera como una tecnología convencional, ya que, no sólo cuenta con un proceso ineficiente de quemado, es de tipo intermitente y toma periodos prolongados de operación (de 36 a 42 horas) por lote de cocción y genera grandes cantidades de mermas, lo cual demuestra su baja eficiencia en términos de producción. Y además, su matriz energética se basa en el uso de combustible como el aceite residual R500, el cual, al tener impurezas, en combustión produce gases como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y material particulado; estos a su vez contienen metales, hidrocarburos policíclicos aromáticos y compuestos orgánicos volátiles (COV), los cuales, además de ser contaminantes para la

atmósfera, puede ocasionar daños a la salud, ocasionando irritación en las membranas mucosas y vías aéreas inferiores entre otras afecciones. (MINAM, 2010)

1.2 Justificación

1.2.1 Aspecto Social

La reducción de gases contaminantes y material particulado producidos en los procesos de combustión que no sólo eran visiblemente aparentes, sino que también en se emitían en altas concentraciones; disminuirían las molestias y daños a la salud, como las enfermedades respiratorias que están asociadas con la contaminación del aire externo e interno, no sólo en cuanto a los trabajadores sino también a la población aledaña.

1.2.2 Aspecto Económico

Una mayor eficiencia en el proceso productivo trae consigo un incremento en las ganancias económicas, debido a que, las características de funcionamiento de la tecnología limpia logran el cambio del suministro energético a gas natural o gas licuado de petróleo, que es de menor costo que los recursos energéticos convencionales. Asimismo, el rendimiento y uso eficiente del mismo, disminuye el tiempo de cocción y proporciona un sistema de quemado uniforme que se traduce en la mejora de la calidad del producto. Además, el reaprovechamiento del calor residual de la zona de enfriamiento de dicha tecnología para el proceso de secado contribuye a no usar otro tipo de suministro energético alternativo para dicho proceso.

1.2.3 Aspecto Ambiental

Se logra minimizar el impacto ambiental negativo al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera producto de los procesos de combustión del horno, que contribuyen al deterioro de la calidad del aire, por ende, al cambio climático. Además, se evita el mayor consumo de energías no renovables que cuentan con un alto índice de nocividad.

1.2.4 Aspecto Tecnológico

La implementación de una tecnología limpia resulta un completo logro tecnológico en términos de innovación, eficiencia energética y productiva, ya que, genera beneficios económicos, optimiza consumos y mejora la competitividad de los productos en el mercado. Respecto a la presente investigación, la ladrillera de estudio es la primera en contar con la tecnología limpia implementada a nivel sur del país. Se pretende que, el presente estudio pueda ser tomado como modelo que pueda ser replicado para contribuir con el crecimiento industrial de una manera limpia, disminuyendo los impactos ambientales negativos y el cambio climático.

1.3 Objetivos

a. Objetivo General:

Realizar la evaluación del horno túnel como tecnología limpia para la reducción de la huella de carbono en la etapa de producción de una ladrillera mecanizada en la Ciudad de Arequipa 2020.

b. Objetivos Específicos:

- Diagnosticar la situación inicial de la producción de ladrillos mediante la evaluación de los impactos ambientales y de la huella de carbono como indicador de GEI.
- Determinar la tecnología limpia adecuada para la etapa de producción de ladrillos mediante la evaluación de criterios ambientales, productivos y económicos ponderados según una metodología de selección de alternativas Scoring.
- Evaluar la tecnología limpia implementada mediante la evaluación de los impactos ambientales y de la huella de carbono como indicador de GEI.

1.4 Hipótesis

Dado que, el uso de tecnologías y combustibles convencionales en el sector ladrillero es ineficiente y genera problemas de contaminación atmosférica, es probable que, la implementación de una tecnología limpia dentro de la etapa de producción de ladrillos mejore la eficiencia energética y, por lo tanto, se reduzca la huella de carbono.

1.5 Exposición de las variables

- a. Variable Independiente
Implementación de tecnología limpia

- b. Variable Dependiente
Reducción de la Huella de Carbono

- c. Operacionalización de Variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Tipo de Variables		Dimensión	Indicadores	Escala		Instrumento
Variable Independiente	Implementación de tecnología limpia	Diagnóstico	Importancia del impacto ambiental (Intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, sinergia, acumulación, efecto, periodicidad, recuperabilidad)	<u>Positivo</u> Liger <25 Moderado $25 \geq <50$ Bueno $50 \geq <75$ Muy Bueno >75	<u>Negativo</u> Leve <25 Moderado $25 \geq <50$ Severo $50 \geq <75$ Crítico >75	Metodología para la Evaluación de Impactos Ambientales – CONESA
			Emisión de CO ₂ por ladrillo cocido	Toneladas de CO ₂ eq		Directrices del IPCC
		Tecnología limpia	Criterios ambientales y socioeconómicos	Rango de valoración del 1 al 9		Metodología de Selección de Alternativas - SCORING
Variable Dependiente	Reducción de la Huella de Carbono	Huella de carbono	Emisión de CO ₂ por ladrillo cocido	Toneladas de CO ₂ eq		Directrices del IPCC

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

En la investigación “Procesos constructivos convencionales en edificaciones y sus impactos ambientales con relación a una producción limpia sostenible en la UNA Puno, periodo 2013-2014” el autor tuvo como objetivo determinar los impactos ambientales que genera la industria de la construcción, la cual, consume gran cantidad de recursos y, además, genera gran cantidad de residuos. Para lo cual, propuso una metodología para poder identificar dichos impactos en la etapa de pre-construcción y la evaluación de aspectos ambientales en la etapa de construcción; con relación a una producción limpia y sostenible. Los resultados mostraron que la actividad de construcción convencional tiene impactos ambientales negativos significativos, lo cuales, pueden mitigarse con el cambio de tecnologías y actualización de equipos y maquinarias. (Salazar, 2015)

La importancia de dicha investigación en relación con la implementación de una tecnología limpia en la ladrillera radica en cuanto a lograr la sostenibilidad en el proyecto en los aspectos económico, social y ambiental. Haciendo referencia a la metodología utilizada que consiste en la evaluación cualitativa de aspectos e impactos ambientales de las actividades en los procesos convencionales de la etapa productiva. Y bajo el enfoque de la Producción Limpia en relación con una Producción Sostenible en los procesos productivos, se puede lograr la mitigación de estos mediante propuestas alternativas como la mejora del proceso productivo, actualización de la tecnología, equipos y maquinaria, etc.

En la investigación “Las industrias ladrilleras y su impacto socio ambiental en la localidad de Nievería-Huachipa” se tuvo como objetivo determinar la relación que existe entre las industrias ladrilleras y el impacto socio ambiental en la localidad, para lo que se identificaron y valoraron los impactos ambientales ocasionados por las industrias ladrilleras mediante la matriz de Leopold. El estudio sólo tomó en cuenta las ladrilleras industriales de la zona, sin considerar las ladrilleras artesanales, ya que, estas se encuentran

en zonas más distantes. Los resultados indicaron que los impactos más significativos se dan en los componentes de aire, paisaje y suelo, causados principalmente en la extracción de la materia prima y el proceso de elaboración de ladrillo. Finalmente, se describieron los impactos sociales derivados de la industria ladrillera, dentro de los más relevantes se determinaron: generación de empleo y daños a la salud de población y trabajadores, por lo que, se demostró que existe una relación directa entre la industria ladrillera y el impacto socio ambiental con un nivel de significancia de valor $p= 0.006$ con el valor ambiental y 0.001 en valor social con una correlación aproximadamente entre moderada y fuerte positiva o directa. (Echabautez, 2016)

En la investigación “Diagnóstico sobre la incidencia de la actividad ladrillera en el territorio, a partir de sus impactos ambientales en Sogamoso” se tuvo como objetivo generar un diagnóstico para identificar la incidencia de la actividad ladrillera sobre la localidad de Sogamoso y cómo afecta sobre la localidad. Para realizar este diagnóstico, se aplicaron métodos de Estudio de Impacto Ambiental, para la identificación y siguiente valoración de los impactos derivados de esta actividad, en cada etapa del proceso, sobre los diferentes componentes que se encuentran en el territorio. Los métodos que se utilizaron fueron Checklist, para la identificación de impactos y factores ambientales; la matriz de Leopold para la valoración de impactos, donde se determinó que el componente más afectado fue el aire, indicando una magnitud alta y el componente menos afectado fue el suelo, ya que, el factor geomorfológico se compensa con el factor de recursos minerales; y con la Metodología Arboleda se identificaron los impactos ambientales más importantes que afectan a la localidad, clasificados según cada factor, para aire se presentaron 2 impactos ambientales: la emisión de gases por contaminantes que presentó una importancia ambiental muy significativa (-7.9); mientras que la perturbación por ruido representó una importancia moderada (- 4.4). Para suelo, el único impacto ambiental fue la erosión del suelo, con importancia significativa (-5.24). Para fauna y flora se determinó importancia significativa (- 10.2). En aspecto socioeconómico, se identificaron dos impactos: alteración del paisaje y empleo, que tuvieron una importancia significativa (-6.29 y +5.28 respectivamente). Finalmente, luego de haber valorado los impactos negativos y positivos,

se pudo establecer recomendaciones para minimizar los impactos negativos. (Salamanca, 2017)

Según el estudio “Impacto ambiental generado por el sector ladrillero en el distrito de San Jerónimo – Cusco”, en el cual, se realizaron muestreos de aire para la determinación de CO, CO₂ y SO₂, además de un análisis físico químico del suelo y agua y una evaluación de flora y fauna; se determinó que los efectos negativos más significativos son la pérdida de suelos y la generación de emisiones contaminantes (SO_x, CO), mediante la valoración de los impactos ambientales utilizando la matriz de Leopold modificada y matriz de interacción Causa Efecto, que dieron como resultado impactos ambientales positivos como la generación de empleo con +182 y economía local con +106 con las acciones de venta de ladrillos; y los impactos negativos generados por el sector ladrillero son en primer lugar la alteración del paisaje con -52, calidad del aire con -50 y pérdida de suelos con -46 con las acciones de extracción de arcilla -72 y quemado -39. (Halanocca, et al., 2015)

En la investigación “Problema ambiental producido por las ladrilleras informales en la provincia de Arequipa” se realizó el diagnóstico ambiental del proceso de fabricación de ladrillos realizando un muestreo de calidad del aire (PM₁₀), sonometría y muestreo de calidad de agua (análisis parámetros fisicoquímicos y microbiológicos) para luego elaborar una tabla de ECAs y LMPs, considerando cada etapa del proceso. Luego, se identificaron los conflictos socioambientales derivados del problema, mediante la elaboración de un árbol de problemas y se valoraron los impactos mediante la matriz Leopold. Se obtuvieron como resultado 2154 impactos negativos y 28 positivos. Los impactos positivos se obtuvieron únicamente del aspecto social, generación de empleos temporales. (Chirinos, et al., 2015)

En la investigación “Identificación de impactos ambientales significativos en la industria ladrillera utilizando un modelo de simulación dinámica” se determinaron los impactos negativos más significativos en la producción de ladrillos en la región Lambayeque, los cuales, se encontraron en la etapa de cocción, debido a los gases contaminantes (SO_x, NO_x, CO₂, PM₁₀) generados por la combustión. Además, se analizaron las posibles

consecuencias futuras en diferentes escenarios: En el año 2020 se superaría los estándares de calidad ambiental (ECA) para PM_{10} si sólo dependiera de las emisiones generados por la Industria ladrillera con un valor de $157.847 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ECA límite para $PM_{10} = 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En 5 años más (2023) se habrá superado el límite permisible para SO_2 con un valor de $83.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ECA límite anual de 80 microgramos / m^3). Y en 12 años más (2030) se habrá superado el límite ECA para NO_2 con un valor de $102.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ECA límite anual de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Respecto al impacto en la salud: para un horizonte de 15 años, se encontró que la relación entre las concentraciones de PM_{10} y casos de rinitis alérgica y vasomotora fue exponencial, tal es así que en los próximos 15 años se producirán 234 497 nuevos casos de rinitis alérgica-vasomotora. (Pozo, 2018)

Es por esto por lo que se han realizado diversas investigaciones que evalúan propuestas alternativas frente a la problemática ambiental presente en la industria ladrillera.

En el estudio “Alternativa de solución a la problemática ambiental producida por las ladrilleras artesanales en Arequipa” se propuso la evaluación y aplicación de una tecnología limpia, la cual consiste en el uso de un aditivo orgánico como material alternativo para la mitigación de contaminación generada por la emisión de gases contaminantes en la etapa de cocción de ladrillos artesanales. Dicho aditivo orgánico se trata de un polímero, el cual, en conjunto con los componentes y arcillas como parte de la materia prima del ladrillo, provocan una alteración en la estructura de la mezcla y obteniéndose así el producto ya moldeado listo para usar. La mejora se basó en la aplicación del reciclaje y reutilización de materiales. Los beneficios del producto obtenido con la utilización del polímero es que no alteró las cualidades y características del producto inicial, lo cual logró la aceptación de la adopción de dicha técnica, al no haber un mayor cambio en el proceso productivo, ni mayor gasto económico. (Febres, 2017)

En el estudio “Análisis de las emisiones de contaminantes asociados a la fabricación de ladrillos y propuesta de reconversión tecnológica Nemocón – Colombia” se tuvo como objetivo principal determinar si las emisiones contaminantes disminuyen al cambiar los hornos a fuego dormido a hornos de cámara semicontinua para la cocción de ladrillos. Para

lo que, en primer lugar, se cuantificó y evaluó el comportamiento de las concentraciones de los contaminantes principales: Partículas Suspensas Totales, PM_{10} y $PM_{2.5}$ en los hornos de fuego dormido y en los de cámara semicontinua, comparándolas contra su comportamiento histórico. Los resultados demostraron que el cambio de tecnología propuesto disminuyó las concentraciones de PST, PM_{10} y $PM_{2.5}$ en las emisiones generadas en la cocción de ladrillos. Además, se evidenció una mayor eficiencia del Horno Cámara semicontinua, ya que, el tiempo de cocción y secado es no mayor a 2 días, en cambio, en el Horno de Fuego Dormido el tiempo de secado es de 15 días, sin contar las pérdidas por unidad de producción. (Arango, et al., 2017)

En la “Propuesta de transformación del proceso de producción de ladrillo para la población alfarera artesanal del corregimiento de Jongovito, Municipio de Pasto” se tuvo como objetivo formular una propuesta de transformación del proceso de producción de ladrillo en la localidad, ya que, el tipo de tecnología que utilizaban para la cocción de los ladrillos, eran hornos tipo Pampa o de cielo abierto, los cuales, tienen grandes pérdidas de calor y son ineficientes en el uso de combustible; además, no cuentan con chimeneas que permitan un control de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual, además de afectar a personas y atmósfera, afectaba también a la principal actividad económica de la localidad, que es la agricultura. Para esto, en primer lugar, se hizo la caracterización de la población productora artesanal de ladrillo en Jongovito mediante una encuesta como instrumento de recolección de información. Luego, se realizó el diagnóstico situacional de la producción de ladrillos y se identificaron los factores clave para la formulación de una propuesta de transformación de producción alfarera. Para el mejoramiento de las condiciones se determinó la construcción de un horno semicontinuo o de cámaras múltiples y una cámara de secado que reducirían el tiempo de cocción en hasta una tercera parte, además que, contribuiría a la reducción de emisiones de gases contaminantes y mejoraría la calidad del ladrillo, aumentando su producción y venta. Finalmente, se establecieron temas de capacitación para los productores artesanales de ladrillo en la localidad, referentes a emprendimiento, control de calidad, manejo contable y asociatividad. (Rodríguez, 2018)

En la investigación “Propuesta para la Mitigación del Nivel De Monóxido de Carbono en la Producción de Ladrillos de Arcilla” se tuvo como objetivo reducir el nivel de monóxido de carbono en la producción de ladrillos de arcilla. La propuesta consiste en la implementación de una mejora tecnológica en una empresa ladrillera ubicada en Huaral. Se identificó que la tecnología inicial usada es un sistema de Hornos Hoffman, que utiliza materia orgánica como combustible (aserrín, viruta y cáscara de café), el cual, genera material particulado y gases de efecto invernadero en elevadas cantidades. Se evaluaron alternativas de otras tecnologías para cocción, según aspectos técnicos y económicos para determinar la viabilidad de cada una. Para la propuesta, se seleccionó el Horno Túnel, que utiliza gas natural como combustible para la implementación de un sistema de hornos, que tiene un proceso de combustión completa, lo cual, minimiza considerablemente los gases de efecto invernadero, en especial el monóxido de carbono, además que, este sistema permite el aprovechamiento de energía calorífica, al tener un buen sistema de circulación de aire. Los resultados determinaron que, con la implementación del Sistema de Hornos Túnel, la concentración de monóxido de carbono (CO) se reduciría en un 87,6% en comparación al dato actual con la operación de hornos Hoffman. (Susanibar, 2019)

El estudio “Diseño de un horno a gas para fábrica de ladrillo en Alpacoma Achocalla”, tuvo como objetivo realizar el diseño de un horno con rendimiento térmico óptimo, con bajo efecto negativo sobre el ambiente. La propuesta consiste en utilizar gas como combustible, en vez de carbón o llantas que emiten grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera; y en el diseño de un sistema de aislamiento que tenga una buena circulación de calor dentro de la cámara para poder ahorrar energía calorífica. Para esto, en primer lugar, se analizaron las condiciones de funcionamiento óptimo para hornos semi-industriales mediante bibliografía. Luego, se identificaron los parámetros básicos para el cálculo del diseño, como capacidad de procesamiento, dimensiones de la cámara de combustión y chimenea, características físicas del producto, además de realizar el balance de materia y energía. También, se identificaron los factores que influyen en la producción y se desarrolló un manual de buenas prácticas en operación y mantenimiento. Y finalmente, se realizó un análisis de costo de materiales y montaje del horno, el cual arrojó resultados favorables que dan como viable la propuesta de diseño. (Pinto, 2016)

En el estudio “A hybrid hierarchical soft computing approach for the technology selection problem in brick industry considering environmental competencies: A case study” se presentó una decisión de grupo multicriterio difuso jerárquico híbrido elaboración de un marco (HH-FMCGDM) para evaluar y clasificar las tecnologías alternativas. El enfoque propuesto se estableció en base a cinco fases en las que se ha identificado el problema de la industria. En este sentido, los resultados mostraron que, entre las tecnologías consideradas, la tecnología del horno túnel es la tecnología de producción de ladrillos verdes y más eficiente; por el otro lado, la tecnología de horno Hoffman es la tecnología menos eficiente y también contaminante. Los resultados del análisis mostraron que la clasificación de alternativas es sensible a los pesos de criterios económicos, ambientales, de reparación y mantenimiento. (Solgi, 2019)

El Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas realizó un “Estudio para desarrollar un modelo de negocios piloto en ladrilleras artesanales, para reducir emisiones de Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC) y Gases de Efecto Invernadero (GEI) y mejorar la calidad de vida de los actores clave” en el que realizaron el establecimiento de los requisitos mínimos para llevar a cabo un proceso de transformación y operación sustentable en la actividad ladrillera. Para lograrlo, se realizó un cuadro comparativo de los hornos que se encontraron y se clasificaron en 3 categorías: tecnologías para producción artesanal, producción semi-industrial para producción colectiva y tecnología para producción industrial, representada por el horno túnel, como tecnología comparativa. Se realizó una matriz comparativa para la selección de tecnologías, donde se consideraron 15 factores, agrupados en 5 aspectos: capacidad productiva, eficiencia para la reducción de contaminación, optimización de mano de obra, modelo de organización empresarial y finalmente, disponibilidad de la tecnología o capacidad para desarrollarla en el país (México). Luego se establecieron una serie de requisitos mínimos en los entornos ambientales, laborales, tecnológicos, legales, fiscales, gestión del cambio; y para el último entorno se contó con las autoridades locales para realizar una evaluación más profunda para determinar el estado en el que se encuentra la gestión que se realiza en el sector ladrillero

artesanal y se determinaron los aspectos principales de la gestión para cada uno de los municipios participantes. (CIATEC, 2018)

Para el “Estudio de la influencia de los parámetros operativos sobre las emisiones de un horno para materiales cerámicos” recurrió a la empresa EDESA S.A., para estudiar uno de los hornos túnel (el número 3) que utiliza diésel como combustible, en el cual se estudiaron los parámetros operativos (temperatura, presión interna, concentración de oxígeno y consumo de combustible) y su influencia en la emisión de gases a la atmósfera en tres etapas: precalentamiento, quema y enfriamiento. Se determinó que los gases que provienen de la quema se dirigen hacia la zona de precalentamiento, lo que evidencia un aprovechamiento y ahorro de la energía calorífica. También se realizó un balance de materia y energía, donde se identificó que el flujo másico que ingresa al horno (5,83 kg/s) es menor que el de salida (9,89 kg/s), esto se debe a la inducción de aire del exterior, que ingresa al horno generando una alta concentración de oxígeno en la chimenea que afecta al cálculo de las emisiones debido al factor de dilución, que, a su vez, genera el incumplimiento de las normas de calidad ambiental, ya que, el exceso de aire provoca la combustión incompleta, de donde surgen los gases contaminantes como el CO. Para optimizar el proceso de combustión, se determinó la relación combustible que fue de 1 200 ft³ de aire por galón de diésel, considerando un exceso de aire del 20 %. Luego, se determinó la cantidad óptima de aire de combustión para cada quemador por zonas del horno, con lo que se obtiene una combustión eficiente. Los resultados demostraron que bajo las nuevas condiciones de operación del horno se consiguió reducir en un 22 % las emisiones de monóxido de carbono y en 1.5 % la concentración de oxígeno con relación a las condiciones iniciales sin que esto afecte a la calidad del producto. Finalmente, se concluyó que los parámetros como la temperatura y la presión pueden afectar a las emisiones del horno en determinadas condiciones, sin embargo, la inducción del aire exterior (fuente abierta) y la relación combustible/aire son las que más injerencia tienen en las emisiones, debido a la diferencia que existe entre el oxígeno referencial (7 %) y la concentración de oxígeno en la chimenea. (Sotalin, 2018)

En la investigación, “Evaluación de la Huella de Carbono en la Producción de Bloque de Arcilla en Ladrillera Los Cristales” el objetivo general fue proponer estrategias para la disminución de la huella de carbono en “Ladrillera Los Cristales” a través del concepto de eficiencia energética en sus procesos, para lo cual, en primer lugar, se evaluó el estado inicial del proceso productivo de bloque de arcilla a través de un diagnóstico para clasificar cada uno de sus procesos y su relación con la Huella de Carbono, donde se realizó la descripción del proceso productivo y el balance de materia y energía por etapa de proceso (explotación, transformación, secado y cocción). Luego, se calculó la Huella de Carbono en los diferentes procesos de fabricación en la ladrillera mediante la “aplicación del informe reporte voluntario de la Huella de Carbono Corporativa”, de la Secretaría de Ambiente (de libre uso) elaborada con base en el GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol), o Protocolo GHG, la norma NTC ISO 14064-1:2006, así como en la matriz definida en el marco del proyecto “Mecanismo para la mitigación voluntaria de gases efecto invernadero en Colombia – MVC” de la Corporación Ambiental Empresarial y la Fundación Natura, con apoyo de otros organismos; y se seleccionaron los más relevantes, que, de acuerdo a la Metodología de Pareto fue el proceso de cocción. Finalmente, se presentó una propuesta para la disminución de la Huella de Carbono que se eligió mediante un Diagrama de decisión, el cual, dio como resultado para el reemplazo de tecnología el horno de Túnel Continuo con tres diferentes opciones energéticas: carbón mineral, gas natural o biogás. (Devia, et al., 2016)

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Proceso de producción de ladrillos

a) Extracción de materias primas (tierra de producción y arcillas)

Para obtener la materia prima, se extrae los diferentes tipos de tierras de canteras las cuales, tanto su extracción como transporte proceden de un servicio tercerizado.

b) Molienda y Mezclado

Para obtener la consistencia y formulación de la materia prima necesaria para ser procesada, se realiza su trituración de acuerdo con un tamaño homogéneo y a su vez se añade agua para lograr la dosificación y consistencia adecuada de acuerdo al tipo de ladrillo a producir.

c) Extrusado

El extrusado se refiere al moldeado de la materia prima hasta lograr una mayor densidad del ladrillo. En este proceso el ladrillo toma forma mediante el laminado, extrusado y cortado.

d) Secado

El proceso de secado se da mediante cámaras de secado con temperaturas y aire controlado.

e) Cocción

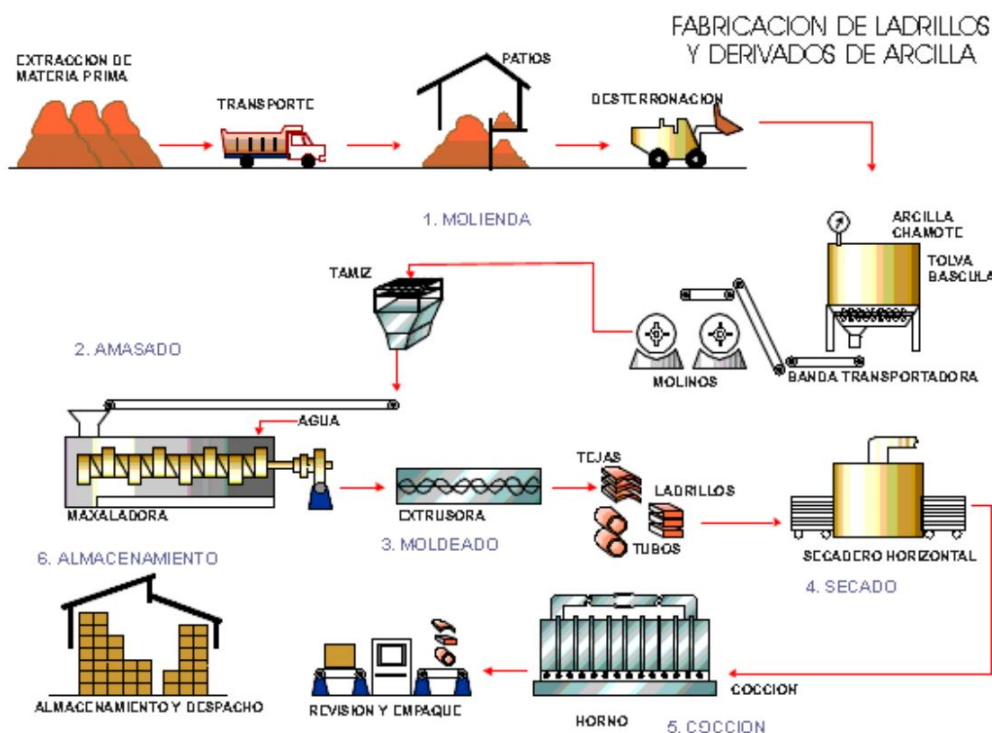
En el proceso de cocción, los ladrillos obtienen resistencia mecánica al manejarse altas temperaturas hasta 900 grados centígrados. El gradiente de temperatura obtenido se distingue entre tres etapas de cocción las cuales son el precalentamiento, cocción y enfriamiento.

f) Descarga y Almacenamiento

Los ladrillos son descargados del horno para su posterior almacenamiento y finalmente poder ser distribuidos al consumidor final.

El proceso completo de fabricación de ladrillos se muestra en la Figura 1 a continuación.

Figura 1. Diagrama de fabricación de ladrillos



Fuente: Enciso, et al., (2014)

2.2.2 Tecnología Limpia

El desarrollo e incremento de las actividades económicas se encuentran bajo las exigencias de un mercado de competitividad, lo cual, se traduce en el aumento de la producción y la comercialización de bienes, suponiendo así una influencia directa sobre el medio ambiente y el aumento de los índices de contaminación. Bajo este contexto, a nivel global se busca paliar dicha crisis económica, incluyendo técnicas y medidas caracterizadas por la adopción de procesos eficientes y racionales para la potencialización de un desarrollo productivo competitivo y sustentable, es decir bajo el enfoque de un desarrollo sostenible económico, social y ambiental.

Es así como surge el término de tecnología limpia, la cual logra que, mediante la adopción de buenas prácticas en los procesos productivos, se incorpore el medio ambiente en el sistema económico. Según la Agenda 21 son aquellas que protegen el ambiente, son menos contaminantes, usan los recursos de manera sostenible, reciclan más, minimizan sus desperdicios, manejan sus residuos de modo superior a las tecnologías que sustituyen. (Rocha et al., 2015)

2.2.2.1 Historia

El concepto de tecnología limpia permanece todavía nuevo para muchos, sin embargo, su uso se remonta al pasado mucho antes de lo que la mayoría piensa. Y a lo largo de los últimos años, la materia sustentable se ha convertido en parte indispensable para el desarrollo económico. Esto debido a al deterioro de la calidad ambiental por el modelo económico obsoleto de producción y consumo. En vista de ello, se dan las iniciativas "limpias" como el lanzamiento de Energy Star por la Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos, que bajo un programa voluntario ayuda a las organizaciones a ahorrar mientras reducen sus emisiones a través de la obtención de productos con eficiencia energética. Además, se han desarrollado programas de producción limpia como el programa de desarrollo de Centro de Tecnologías Limpias auspiciado por el programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, y a su vez en este marco existe asistencia financiera por entidades como el Banco Mundial, Fondo Global del Medio ambiente, etc.

Surge por primera vez a fines del siglo XX gracias a la revolución de la ciencia y tecnología y la preocupación por desafiar los sistemas de producción e industria bajo el enfoque de manejo ambiental en búsqueda de fuentes alternativas energéticas para evitar el consumo indiscriminado de recursos naturales y prevenir la contaminación. Obteniéndose así el concepto de Producciones Más Limpias, en el año 1989, por el Programa de las Naciones

Unidas para el Medio Ambiente, que aborda por primera vez el término de Tecnologías Limpias. (PNUMA, 2013)

El concepto de tecnología limpia se da de varias formas: aquellas que permiten reducir descargas de contaminantes o emisiones, y a su vez aquellas que reducen el consumo de recursos ya sea agua, energía, etc., en sus procesos y en ambos casos se detiene el incremento de contaminantes adicionales, logrando un balance de carácter sustentable en los procesos de la organización. (Sandoval, 2006)

Como clave del balance de la calidad de vida ya sea del hombre como también de la naturaleza, las tecnologías limpias representan un punto de quiebre para lograrlo. Son 12, los países que representan casi el 90% de las innovaciones en tecnologías limpias según la revista Forbes; los líderes en ello son, Japón, Alemania y Estados Unidos logrando un 60% en conjunto. Sin embargo, se espera que el desarrollo, uso y aplicación de las tecnologías limpias en el contexto de las ciudades se extienda a las regiones en desarrollo para poder alcanzar su independencia energética y sostenibilidad ambiental. (Pentland, 2010)

2.2.2.2 Principios

Al cambiar los equipos y tecnología en los procesos de producción, se logra mejorar la calidad de los productos, incrementar la capacidad de producción, disminuir el uso de materias primas, disminuir la cantidad de residuos o hacer un uso más eficiente de agua y energía. También, los tiempos de producción pueden disminuir, así como también las necesidades de mantenimiento o recurso humano, mediante los procesos de automatización, incrementando la certidumbre en el desempeño de los procesos y mejorando la capacidad de respuesta de las empresas. (Sandoval, 2006)

Los principios que propone Sandoval (2006) en el Manual de tecnologías limpias en PYMES bajo los cuales se desarrollan y operan las tecnologías limpias están a menudo interrelacionados y son los siguientes:

- a. Buenas prácticas de manufactura. El control de los medios en los cuales se realizan todas las actividades o procesos de la organización es importante para alcanzar la eficiencia.
- b. Simplificación de procesos. Esta característica tiene el fin de disminuir los pasos o etapas que se dan en un proceso productivo al deshacerse de los que sean innecesarios a modo que se obtenga el producto final respetando la mayor calidad de este.
- c. Control de los procesos. Vigilancia de los diferentes procesos mediante el conocimiento preciso de sus operaciones, la medición de sus parámetros, dosificaciones adecuadas y mecanismos de corrección de desviaciones a modo que se reduzca el consumo de materiales, agua y energía, y poder lograr una buena calidad de los productos y la certidumbre en sus procesos.
- d. Sustitución de materiales, combustibles y fuentes de energía que se utilizan en el proceso. El uso de materias primas de mayor calidad y pureza contribuyen a la mejora la calidad de los productos, reduciendo la generación de residuos innecesarios, aumentando la eficiencia de los procesos y por consiguiente la vida útil de los equipos.
- e. Reúso y reciclado de materiales, residuos y energía. Estas prácticas de reutilización contribuyen a generar la optimización y disminución de recursos. Esto es aplicable también al agua de los procesos, el vapor y la energía.

- f. Modernización de equipos. En caso sea accesible, el cambio hacia mejores equipos y su modernización es necesario. En el caso de aquellos en los que se requieren motores eléctricos, estos pueden ser sustituidos por motores de alta eficiencia, los de transferencia de materiales también suelen mejorar su eficiencia.

2.2.2.3 Tecnología limpia en ladrilleras, escala Internacional

A escala Internacional, diferentes iniciativas, ONG's, o programas en general, han realizado esfuerzos y proyectos para lograr la reducción de la contaminación en este sector y velar por la salud pública, mediante la modernización en sus procesos productivos aplicando tecnologías eficientes. Por lo tanto, se han visto experiencias; que van de la mano, en buscar eficiencia energética y tecnologías limpias con el objetivo de obtener la viabilidad y rentabilidad de dichos proyectos mediante el financiamiento, para aprovechar la incorporación de medidas y tecnologías que contribuyan al beneficio ambiental. Asimismo, se encuentran organismos internacionales como USAID, y SWISSCONTACT (Cooperación Suiza) que están aplicando programas medioambientales en coordinación con los gobiernos de turno y también con empresas privadas, con el afán de erradicar los GEI y mitigar así el cambio climático. Los hay como el programa de USAID de desarrollo con bajas emisiones en México; hasta programas de Líneas de Crédito Ambiental que otorga la Cooperación Suiza en Perú y Colombia. Y también no menos importante pero específico el programa Eficiencia Energética en Ladrilleras (EELA) cuyo objetivo es contribuir a reducir las emisiones de gases efecto invernadero en ladrilleras de la región y mejorar la calidad de vida de la población aledaña, este programa es financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y ejecutado por SWISSCONTACT.

Prácticas Alternativas

La mayoría de las prácticas eco amigables en ladrilleras se dan en cuanto a la aplicación de medidas bajo el enfoque de producción limpia en los procesos productivos y el cambio de tecnología y suministro energético en el proceso de cocción. La aplicación de prácticas bajo un enfoque de la Producción Limpia permite mejorar no sólo el desempeño ambiental en los procesos productivos, sino que también busca el beneficio económico logrando su posicionamiento competitivo. La reducción de costos e impacto ambiental se obtiene mediante la aplicación de prácticas y optimización de procesos.

En cuanto a la industria ladrillera, esto se ve reflejado en el uso eficiente de insumos y recursos como materias primas, agua y energía contribuyendo a la economía, ya que, el su ahorro en adelante se traducirá en ganancias; ambientales por la disminución del impacto negativo al cual contribuyen la generación de descargas o emisiones al ambiente y por lo tanto se logra aprovechar de manera eficiente los recursos; y sociales por lograr un buen ambiente para la población aledaña y satisfacción del consumidor. (EELA-Bolivia, 2013)

2.2.3 Tipos de tecnologías en hornos

Hablar del uso de tecnologías; lleva a analizar diversos tipos de hornos utilizados en la cocción de ladrillos y el suministro energético requerido para éstos. Es decir que, para mejorar el desempeño ambiental en los productores ladrilleros, se debe tomar como referente el cambio tecnológico de hornos eficientes. Se describen las diferentes tecnologías aplicadas para la cocción de los ladrillos con el fin de lograr la reducción de consumo de combustible energético y por consiguiente las emisiones de gases, sin dejar de lado el ahorro que ello representa en cuanto a las mejoras en la productividad y competitividad. Vienen desde los intermitentes, semicontinuos y continuos.

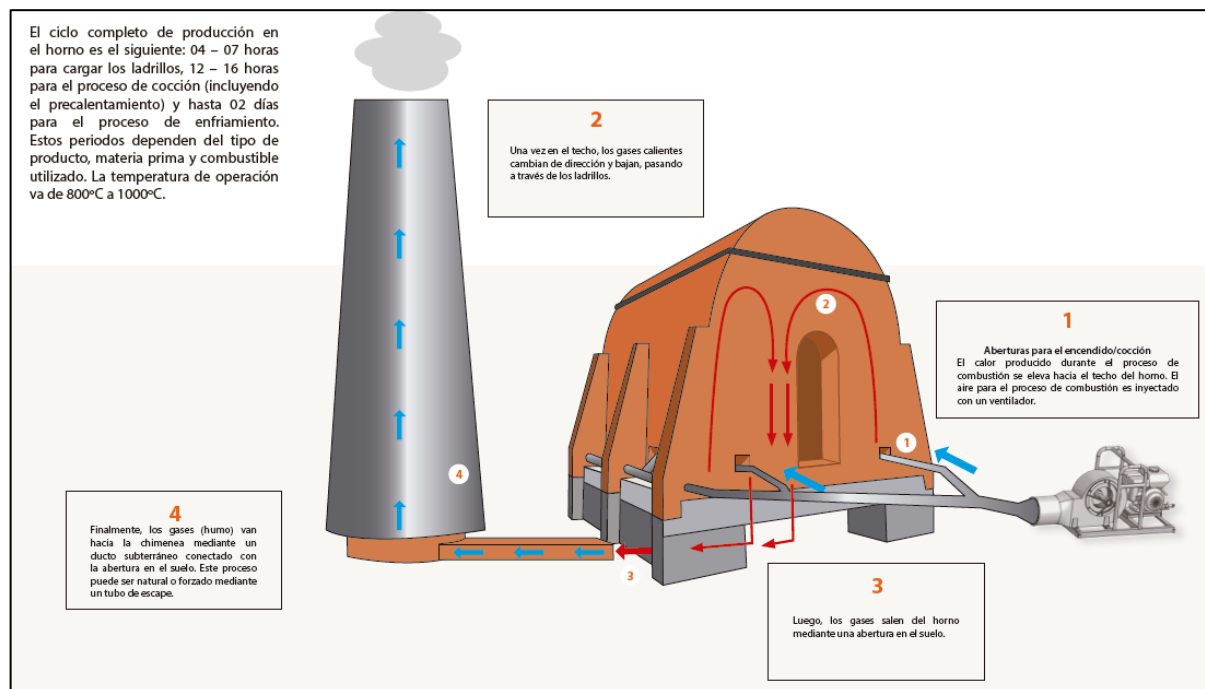
2.2.3.1 Hornos intermitentes

También conocidos como hornos por lotes, son hornos de cámaras individuales o en batería, en los que la temperatura del horno sigue un ciclo de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento sin extraer la carga del interior del horno, y cada ciclo se repite con cada lote. (Riveros, 2011)

a. Horno de Tiro Invertido

Es de forma rectangular, con un techo abovedado y orificios en las paredes laterales por los cuales se inyectan aire y combustible. La combustión se inicia en las zonas frontal, posterior y laterales del horno (Figura 2). Al inicio del proceso de combustión, los gases producidos van hacia el techo de la bóveda y pasan a la chimenea. Los combustibles usados comúnmente son leños, ramas, aserrín, petróleo residual. Las emisiones de este horno dependen de la relación aire/combustible inyectado. Debido al principio operativo de tiro invertido, los ladrillos actúan como filtro, al retener parte de las partículas producidas. (Pulido, et al., 2017)

Figura 2. Diagrama de funcionamiento del Horno de Tiro Invertido

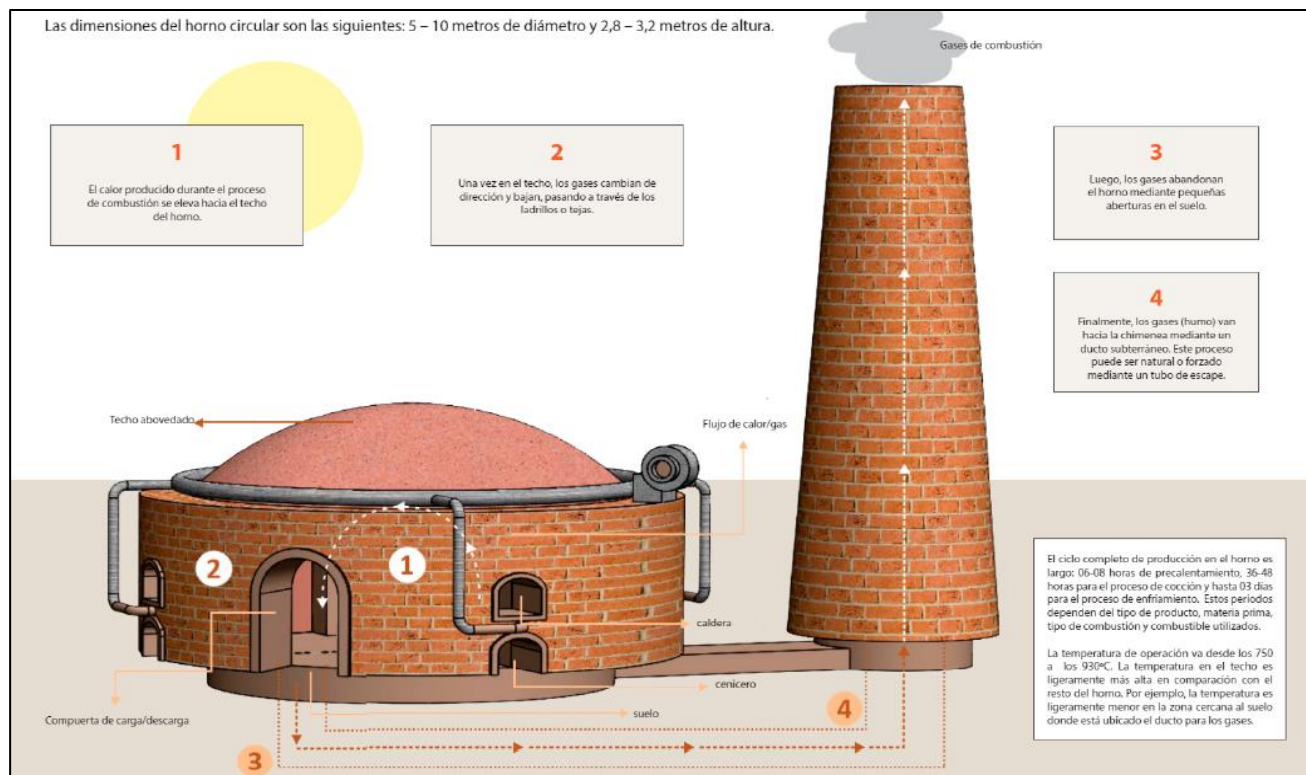


Fuente: Greentech Knowledge Solutions, (2015)

b. Horno Colmena

La cámara de cocción tiene forma circular, con paredes y techo abovedado. Tiene orificios llamados “hogares” distribuidos uniformemente en la parte exterior de las paredes laterales, en los cuales se quema el combustible (Figura 3). El combustible y sus residuos no están en contacto directo con el producto debido a la pared separadora y conductora de gases del hogar. Este diseño tiene la ventaja de que los productos presenten tonalidades homogéneas y no existan problemas en la coloración, como manchas oscuras, por efectos del humo y cenizas producto de la combustión. Los gases de combustión ascienden entre la pared del horno y la pared frontal del hogar, llegando hasta la bóveda y luego son obligados a salir por la parte inferior del horno atravesando la carga de arriba hacia abajo, abandonando el horno por el conducto de abducción de gases que se encuentra en el centro del suelo del horno y conduce los gases hacia la chimenea. (EELA, 2015)

Figura 3. Diagrama de funcionamiento del Horno Colmena

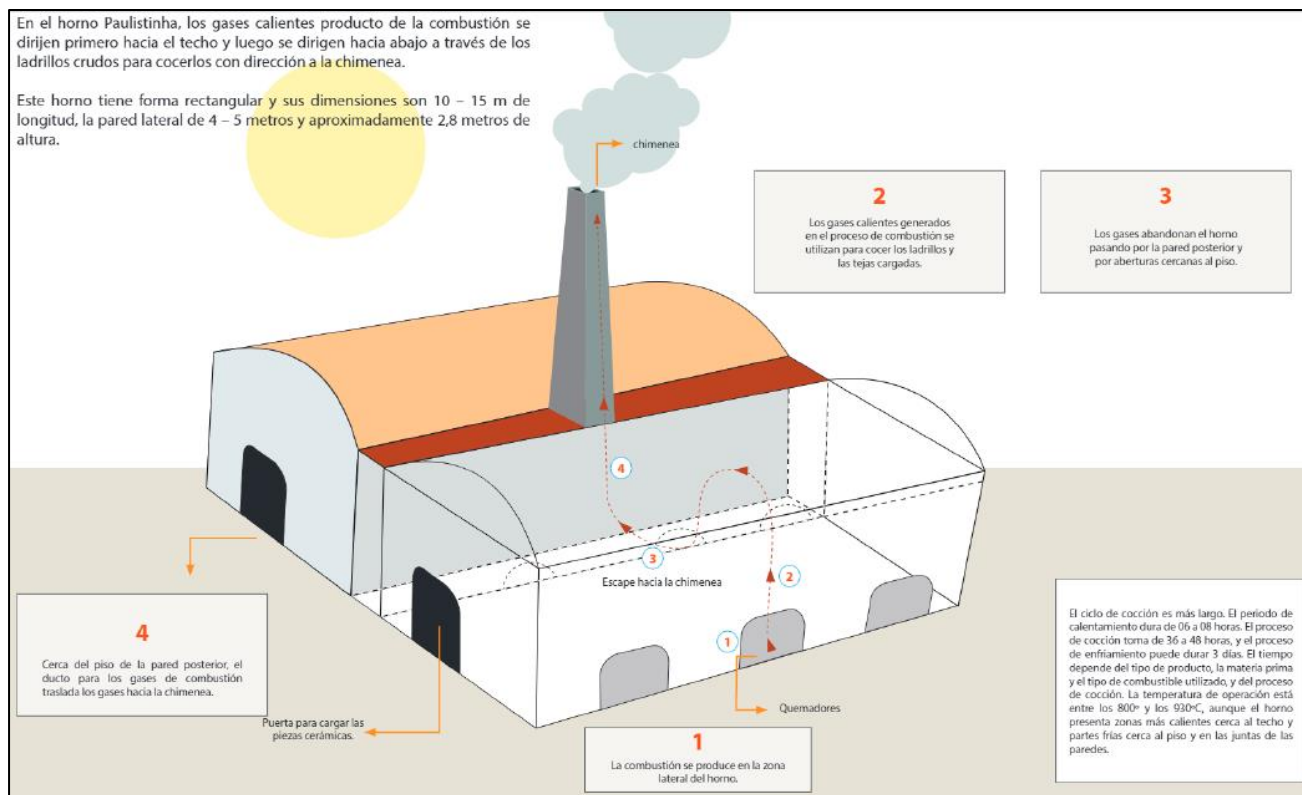


Fuente: Greentech Knowledge Solutions, (2015)

c. Horno Paulistinha

Consiste en pares de cámaras rectangulares con paredes y techo abovedado, construido con ladrillos, la puerta para cargar y descargar el material se encuentra en la pared frontal (Figura 4). Los combustibles comúnmente utilizados son leños, ramas y pedazos de madera. Debido al diseño de las cámaras, no se logra una distribución uniforme del calor, ya que, mientras unos espacios se calientan, otros se mantienen fríos. Esto afecta a la calidad del producto, lo que puede generar grandes cantidades de mermas. El ciclo de quema comprende cerca de 12 horas de carga del horno, precalentamiento de 20 horas, quema de 18 horas, enfriamiento de 27 horas y descarga de 12 horas, haciendo un total cercano a las 90 horas o casi 4 días, lo que puede variar en función del tipo de combustible y materia prima, influyendo en la temperatura de la quema. (EELA, 2015)

Figura 4. Diagrama de funcionamiento del Horno Paulistinha



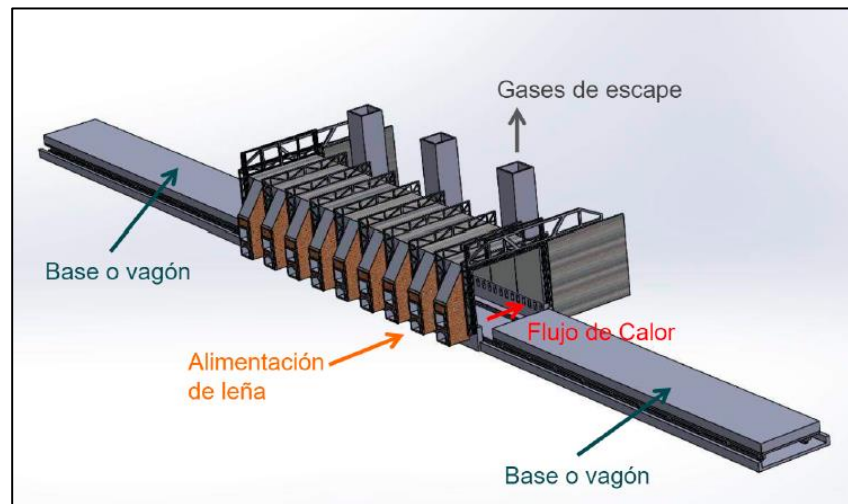
Fuente: Greentech Knowledge Solutions, (2015)

2.2.3.2 Hornos semicontinuos

Son hornos que tienen una capacidad de producción mayor que los hornos intermitentes, y en algunos casos, tienen cargas muy cercanas a las que producen los hornos continuos, pero se diferencian de los continuos porque todos los vagones cargados deben ser introducidos completamente en la galería, sin almacenamiento de reserva. Por lo tanto, el ritmo de avance de los vagones dentro de los hornos es igual al del cargue de vagones y durante las horas de descanso del personal, el funcionamiento de los hornos semicontinuos es similar al de un horno intermitente, con la diferencia importante de que la evacuación del aire ocurre siempre por el extremo de entrada de los vagones. A nivel de funcionamiento, se asemejan a los hornos continuos cuanto más tiempo duren las quemadas y el ciclo de cocción; y a los intermitentes en el caso inverso. Los hornos semicontinuos son en ocasiones, agrupaciones de hornos intermitentes tendientes hacia una operación continua. (EELA, 2015)

a. Horno Vagón

Consiste en 1 o 2 cámaras rectangulares con techo plano o curvo, en las cuales se introduce un vagón cargado con las piezas a quemar, el cual es del tamaño del horno. La alimentación es lateral y el tiro se realiza por el lado opuesto a la zona de quema. Interiormente tiene un revestimiento de ladrillo refractario en la bovedilla de quema, semi-refractario en las paredes internas del horno y en el techo tiene un recubrimiento de fibra refractaria. Los productos son acomodados sobre un vagón que se mueve a través de rieles hasta llegar al horno. Mientras una carga es quemada, otra es montada sobre otro vagón del otro lado del horno, quedando lista para ser procesada al final de la quema de la carga anterior (Figura 5). El ritmo de producción del horno es del orden de 13 vagones mensuales, pero puede ser mayor, dependiendo del tipo de arcilla, temperatura de la quema y condiciones ambientales. El tiempo promedio de quema es de 36 horas y la capacidad del vagón es de 19.600 unidades por quema. (Henriques, 2015)

Figura 5. Diagrama de funcionamiento del Horno Vagón

Fuente: Henriques, (2015)

b. Horno Cedan

Consiste en cámaras múltiples interconectadas, con aprovechamiento interno de calor entre ellas, proporcionando una operación semi-continua. Esta operación se caracteriza por el hecho que siempre existe una cámara en fase de quema, lo que significa que mientras una determinada cámara se encuentra quemando, las cámaras siguientes, ya cargadas con el material para quemar, reciben el calor residual extraído de la cámara que está quemando. Por lo tanto, se puede tener de dos hasta cinco cámaras subsecuentes en precalentamiento. Además, en la cámara anterior a la de la quema, se hace simultáneamente el enfriamiento de la carga ya quemada, inyectando aire del ambiente. Este aire intercambia calor con las piezas calientes, y va hacia la cámara en la fase de quema, actuando como aire de combustión caliente (Figura 6), lo que también contribuye para un mayor rendimiento energético. (EELA, 2015)

Figura 6. Diagrama de funcionamiento del Horno Cedan



Fuente: EELA, (2015)

2.2.3.3 Hornos continuos

Los hornos continuos aparecieron como una solución más rentable en la fabricación de productos cerámicos y arcilla. El funcionamiento continuo de los hornos se caracteriza por el desarrollo ininterrumpido de la cocción y la posibilidad de efectuar las diferentes etapas sin variar el ritmo de la producción.

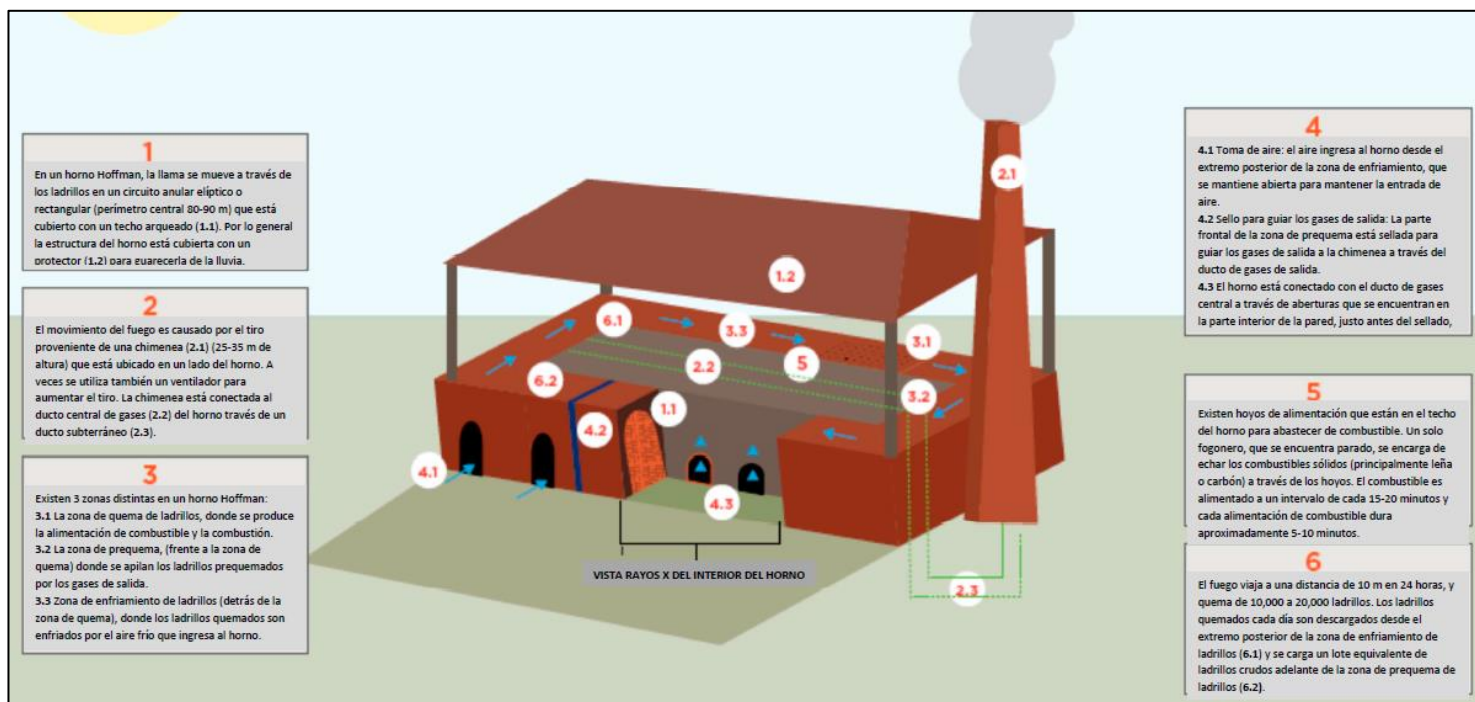
a. Horno Hoffman

Es un horno en el que el fuego está ardiendo y moviéndose siempre a través de ladrillos apilados en un circuito cerrado, de forma circular, elíptica o rectangular con un techo arqueado. El movimiento del fuego es causado por el tiro proveniente de una chimenea o un ventilador. La estructura de este horno está compuesta por gruesas paredes para resistir el choque

térmico de las constantes operaciones de calentamiento y enfriamiento, que, minimizan la pérdida de calor al exterior. En el interior está dividido por zonas, cuya longitud es variable, que permiten que la producción sea continua. Dichas zonas son la zona de precalentamiento, seguida de la zona de cocción y la zona de enfriamiento (Figura 7).

Aproximadamente toma una semana para realizar un ciclo completo de quema (el fuego llega al punto de donde partió). La alimentación del combustible se realiza en la parte superior del horno, de manera manual o neumática, la cual debe realizarse en forma dispersa, evitando chorros que provoquen combustión incompleta. (EELA, 2015)

Figura 7. Diagrama de funcionamiento del Horno Hoffman



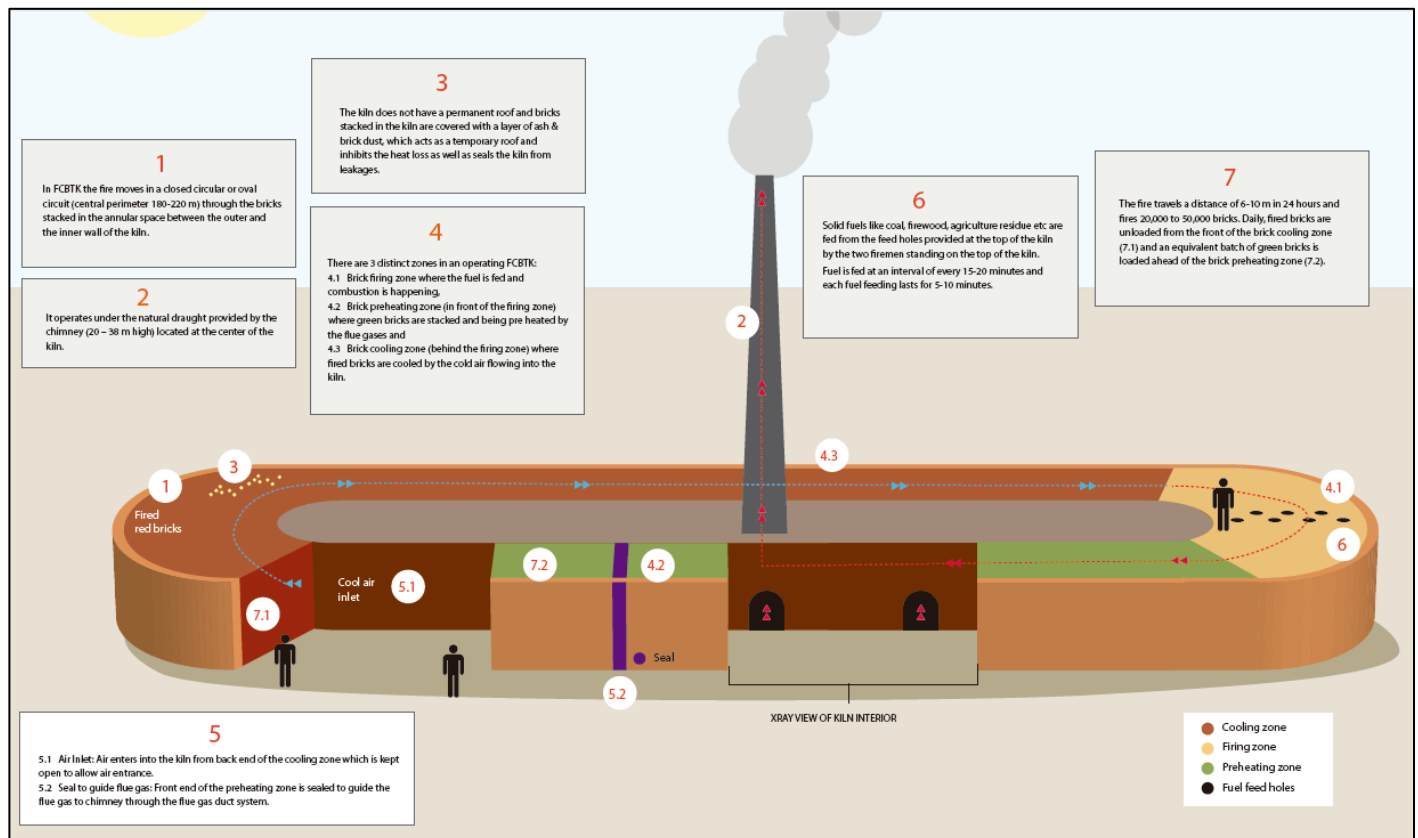
Fuente: Greentech Knowledge Solutions, (2014)

b. Horno FCBTK

El FCBTK por sus siglas en inglés (Fixed Chimney Bull's Trench Kiln) es un horno de fuego continuo y móvil operado bajo un tiro natural

proporcionado por chimenea fija (Figura 8). Inicialmente, los BTK (Bull's Trench Kiln) tenían chimeneas metálicas móviles. Las chimeneas metálicas móviles fueron prohibidas mediante una notificación del Ministerio de Ambiente en EE. UU. en 1996. Desde entonces, la mayoría de BTK se han cambiado a chimeneas fijas. La conversión a la tecnología FCBTK redujo las emisiones de PM y el uso de combustible en comparación con la chimenea móvil BTK. Sin embargo, FCBTK también sufre de combustión incompleta, que se evidencia en una alta concentración de CO en los gases de combustión emitidos, humo negro y deposición de carbón no quemado en el piso del horno. (Lalchandani, et al., 2013)

Figura 8. Diagrama de funcionamiento del Horno FCBTK

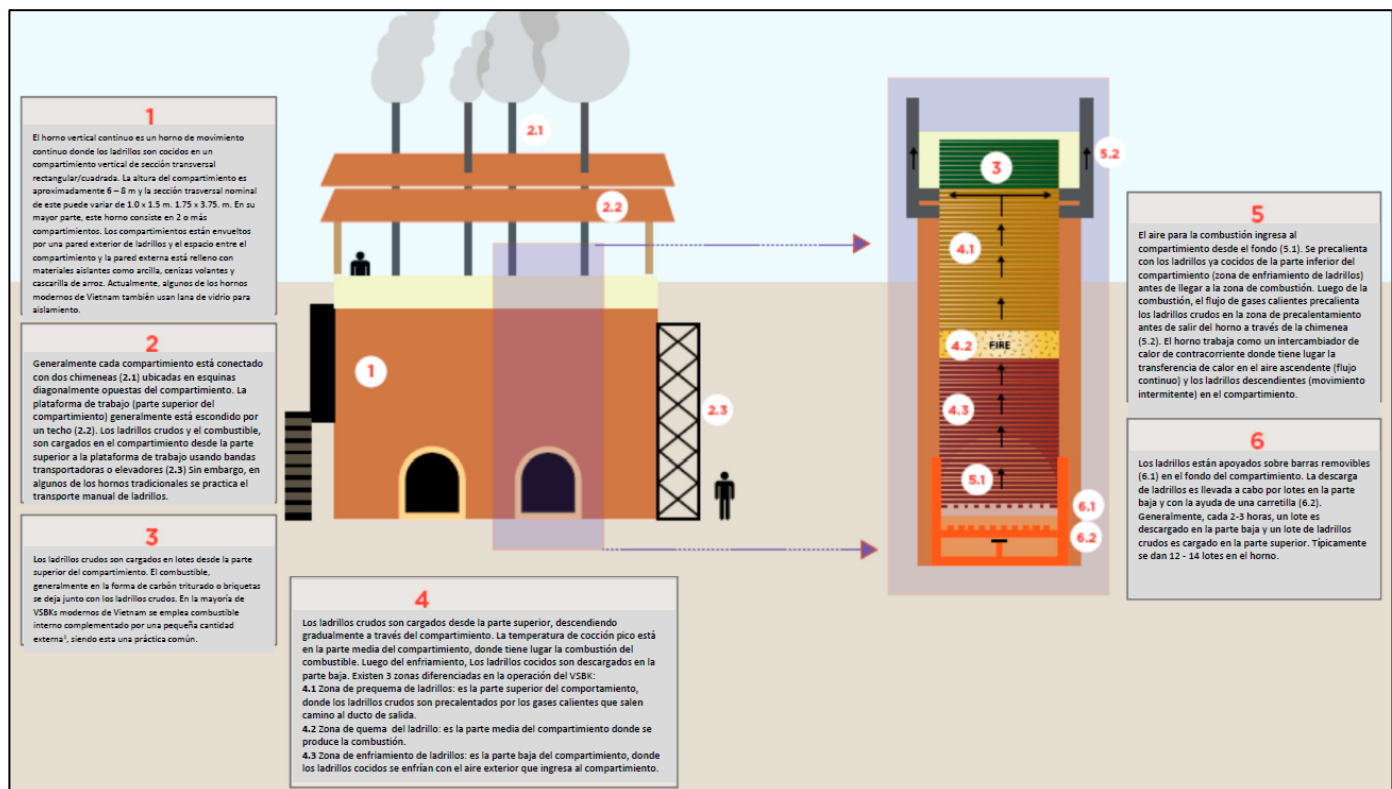


Fuente: Greentech Knowledge Solutions, (2014)

c. Horno Vertical VSBK

El horno vertical – VSBK, por sus siglas en inglés (Vertical Shaft Brick Kiln), consta de una o más cámaras situadas dentro de una estructura de bloques rectangulares. Los ladrillos crudos se cargan a la cámara desde la parte superior. Durante el arranque del horno, el fuego es encendido en la cámara de combustión en la parte inferior o superior del horno. Dispone de dos chimeneas rectangulares en las esquinas de cada cámara, por las cuales, evacúan los gases de combustión. La descarga se realiza desde la parte inferior con un carro de descarga, que se desplaza sobre rieles a lo largo de la longitud del túnel (Figura 9). El siguiente lote de ladrillos crudos se carga en la parte superior subiéndolos a la plataforma de carga. La frecuencia de descarga - carga varía entre 90 a 150 minutos. El tiempo de residencia de un lote en el horno varía entre 15 a 30 horas. (EELA,2015)

Figura 9. Diagrama de funcionamiento del Horno VSBK



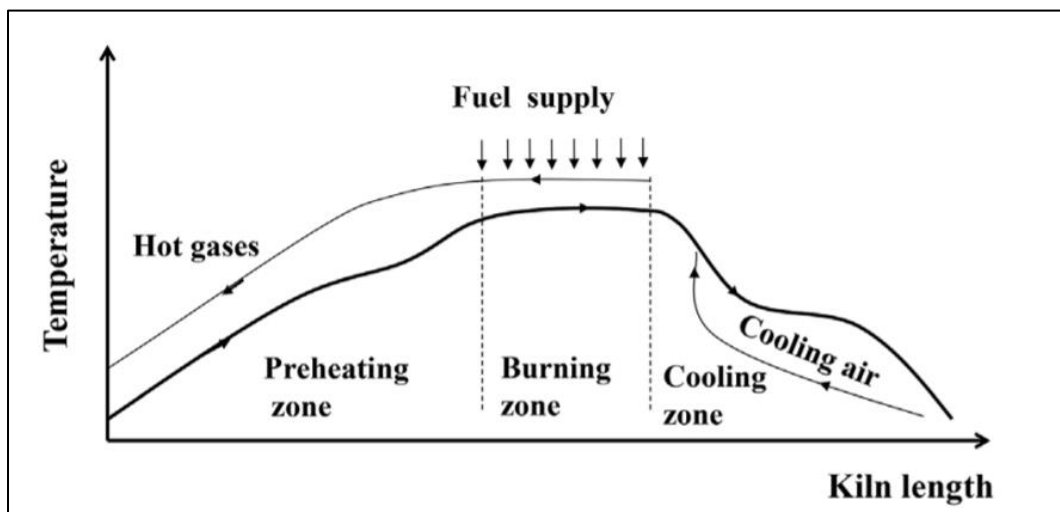
Fuente: Greentech Knowledge Solutions, (2014)

d. Horno Túnel

Un horno de túnel consta básicamente de una cámara rectangular larga revestida de material refractario o fibra cerámica, a través de la cual pasan los productos a procesar sobre algún tipo de plataforma (generalmente vagones). En él se producen una serie de intercambiadores de calor conectados en dirección opuesta con las piezas en los vagones del horno que se mueven en contracorriente con el flujo de aire. Hay tres zonas principales de temperatura en el horno; zona de precalentamiento, cocción y enfriamiento. (Refaey, 2018)

Primero, los productos crudos se calientan gradualmente en la zona de precalentamiento y luego hasta la temperatura final de cocción de 900 a 1050 ° C en la zona de cocción. La temperatura máxima y el tiempo de mantenimiento a esta temperatura dependen de la mezcla de arcilla y el tipo de producto. A la zona de cocción le sigue la fase de enfriamiento, donde se enfrían los productos a una temperatura cercana a la temperatura ambiente (Figura 10). El calor disponible en la zona de enfriamiento se extrae y es dirigido al secador a través de un conductor térmico. (Rimpel, 2019)

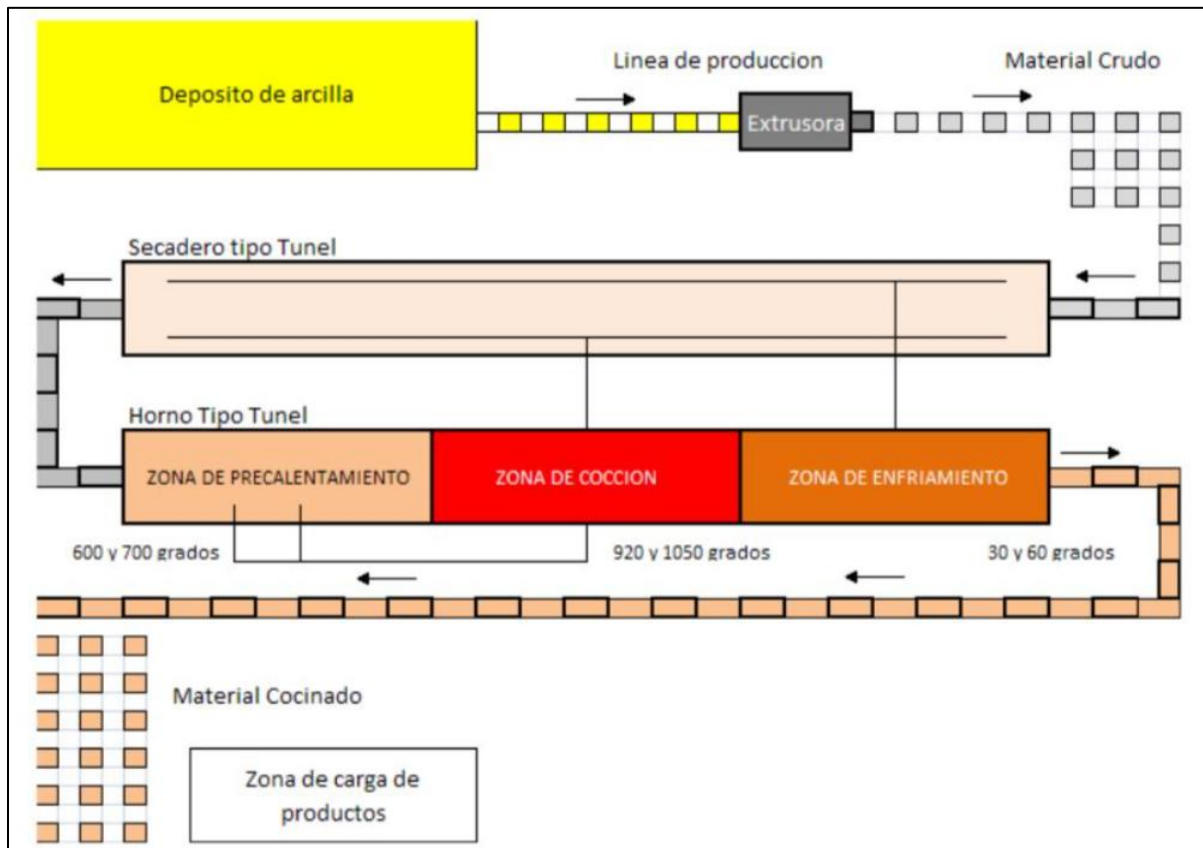
Figura 10. Distribución de temperatura a lo largo del Horno Túnel



Fuente: Refaey, et al., (2018)

Este tipo de horno de alta temperatura es adecuado para la cocción de grandes volúmenes de productos, alcanzando una gran consistencia para los acabados de estos debido al cambio gradual de temperatura. Puede trabajar con diversos tipos de combustibles, tales como el gas natural, GPL, diésel, nafta y combustibles sólidos o también solución combinada (Figura 11).

Figura 11. Diagrama de funcionamiento del Horno Túnel



Fuente: ONG Sugamuxi, (2013)

Tabla 2. Cuadro resumen comparativo de Hornos

PARÁMETROS	TIPO DE HORNO								
	DE TIRO INVERTIDO	COLMENA	PAULISTINHA	VAGÓN	CEDAN	HOFFMAN	TÚNEL	FCBTK	VSBK
Tipo	Intermitente	Intermitente	Intermitente	Semi continuo	Semi continuo	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo
Emisión de g CO ₂ /kg ladrillo cocido	100.9	330	380	170	175	65.94	77	131	70.5
Emisión de g PM/kg ladrillo cocido	-	0.87	1.56	-	-	0.154	0.24	1.18	0.15
Capacidad de Producción (millones de ladrillos al año)	0.18 – 0.60	0.06 – 0.11	0.03 – 0.06	7.8 – 13	10.4	0.48	15	3 – 8	2.92 – 12.78
Calidad del Producto	60 – 80%	60 – 80%	50 – 70 %	>98%	90%	85 – 90%	>98%	60%	90%
Combustible Usado	Leña, aserrín, petróleo	Leña, aserrín, carbón	Leña, aserrín	Leña, aserrín	Leña, aserrín	Leña, carbón, gas licuado de petróleo, gas natural	Carbón, coque, gas licuado de petróleo y gas natural	Leña, aserrín, carbón	Carbón
Consumo de Energía (MJ/kg producto)	2.8 – 3.5	2.5 – 3.8	2.5 – 4.0	1.6 – 2.2	1.7 – 2.3	1.7 – 2.7	1.0 – 1.5	1.3	0.8 – 1.0
Inversión (US 10x3)	6 – 12	30 – 50	28 – 48	210 – 730	200 – 260	25 – 150	1000	50 - 80	60 – 400

Fuente: Elaboración propia basada en fichas técnicas^{1,2}

¹ Greentech Knowledge Solutions (2015). Ficha técnica de tecnologías de horno de ladrillo/teja en América Latina.

² Greentech Knowledge Solutions (2014). Factsheets about brick kilns in South and South-East Asia.

2.2.4 Huella de Carbono

Los primeros indicios sobre una preocupación sobre el calentamiento de la tierra fueron a inicio de los años 70 mediante un informe de los límites de crecimiento redactado por un grupo de científicos y el Club de Roma. Posteriormente, hacia el año 1987 se realizó la convención de Brundtland y un año después en Toronto, donde el cambio climático llegó a ser parte de la agenda política y se recomendó la reducción de emisiones de Dióxido de Carbono en un 20% para el 2005, con respecto a ese año. Años después se creó en la Naciones Unidas el programa para el medio ambiente (PNUMA), donde se originó el Panel Intergubernamental del Cambio climático (IPCC), el cual sería una comisión interdisciplinar e internacional de científicos para el estudio de las investigaciones científicas de tanto las contribuciones del ser humano al calentamiento de la tierra como sus efectos. Más adelante, con la primera cumbre de medio ambiente y desarrollo sostenible en el año 1992, se creó la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMUCC). En 1997, la asamblea general de la ONU que se llevó a cabo en Nueva York realizó el análisis de los acuerdos de la cumbre de Río estableciendo reglas para la reducción de los GEI. Su investigación y aprobación se impulsaron el mismo año en el Protocolo de Kyoto durante la Tercera Conferencia de las Partes sobre el cambio climático COP3 con el objetivo de lograr un acuerdo por parte de más de 30 países para disminuir en 5,2% los GEI entre el 2008 y 2013.

A lo largo de los años, la actividad antrópica desde la revolución industrial está tendiendo a incrementar las concentraciones de los GEI contribuyendo en cantidades extraordinarias el aumento del Efecto Invernadero. Es por ello que, surge el concepto de Huella de Carbono, la cual es considerada una de las más importantes herramientas para cuantificar las emisiones de gases efecto invernadero y en forma muy general, representa la cantidad de gases efecto invernadero emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios (Espíndola, et al., 2012). La huella de Carbono mide la emisión de GEI en toneladas de carbono equivalente. Tras el acuerdo internacional y creación del protocolo de Kyoto, para la reducción de emisiones, se define a los Gases de Efecto Invernadero como

contaminantes atmosféricos, los cuales permanecen en altas concentraciones formando una capa en la atmósfera, lo cual impide la salida de la radiación solar evocada por la tierra, generando así el aumento de la temperatura global de la tierra.

En países como Perú, el cual se encuentra en vías de desarrollo, en respuesta a las exigencias ambientales, se está incrementando un desarrollo económico que considera la reducción de emisiones atmosféricas de carácter contaminante y tomar medidas y avances en sus procesos productivos, que permitan la cuantificación y disminución de emisiones y estar a la par en el ámbito competitivo.

En cuanto al sector manufacturero ladrillero; el impacto de la producción de ladrillos y su Huella de carbono se rige por la medición de esta en sus procesos, convirtiéndose en una herramienta indispensable para la contribución de la ecoeficiencia y por lo tanto buscar medidas para la reducción del consumo energético en el proceso productivo.

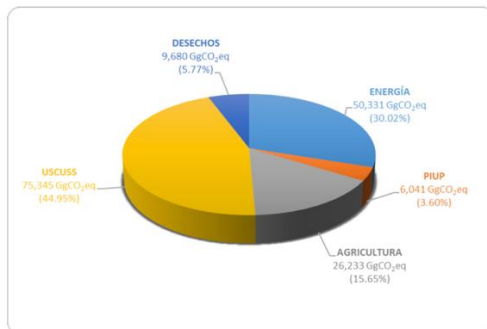
El uso de la Huella de Carbono ha encontrado un importante campo de contribución en cuanto la eficiencia energética y los impactos en los costos de producción, situación que mejora el margen de beneficio de la empresa contribuyendo no solo a la sostenibilidad ambiental sino a la rentabilidad económica de la empresa. (Wilches, et al., 2016)

2.2.4.1 Inventario nacional de GEI Perú

El Perú cuenta con un inventario nacional de gases de efecto invernadero el cual fue establecido en el 2014 por el Ministerio del Ambiente con el objetivo de lograr los acuerdos asumidos a raíz de la suscripción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el IPCC y el Protocolo de Kyoto. Se han elaborado Inventarios Nacionales de GEI con año base 2014, 2012, 2010, 2005, 2000 y 1994, y de esta forma se han identificado los sectores con las mayores emisiones de gases de efecto invernadero. Al año 2014 las emisiones totales del país ascienden a 167,629.8 GgCO₂eq, siendo el sector energía, por la combustión de combustibles fósiles el segundo sector con

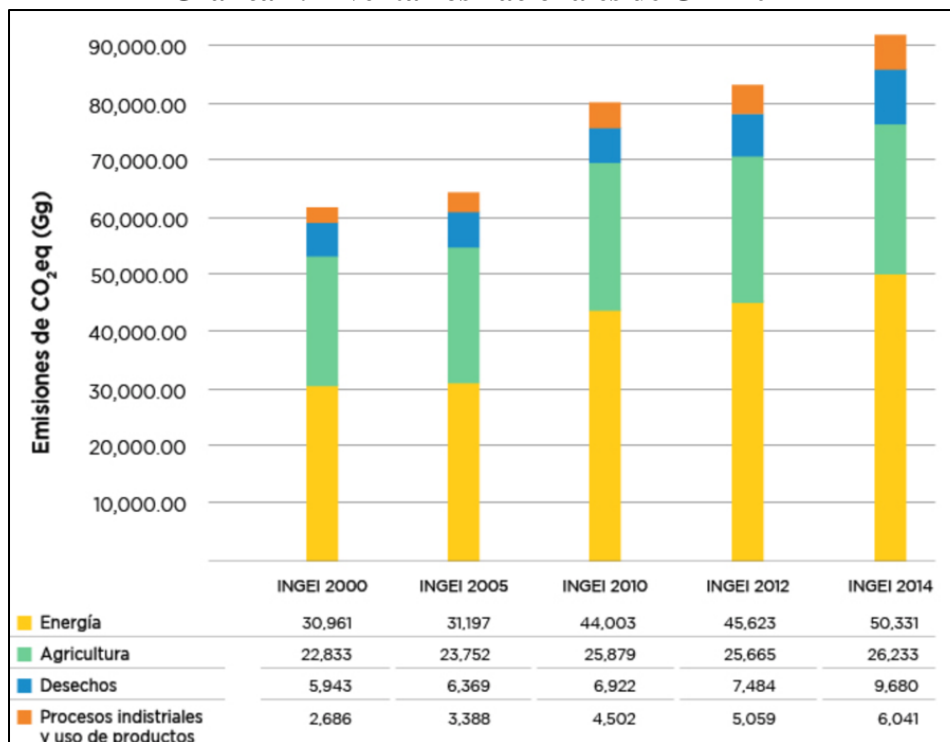
mayores emisiones de GEI a la atmósfera con un 30% (50,330.6 GgCO₂eq) (MINAM, 2014) como se observa en la Gráfica 1 y Gráfica 2.

Gráfica 1. Distribución de las emisiones por sectores en Perú del Inventario nacional de GEI. IPCC



Fuente: MINAM, (2014)

Gráfica 2. Inventarios nacionales de GEI 2014



Fuente: MINAM, (2014)

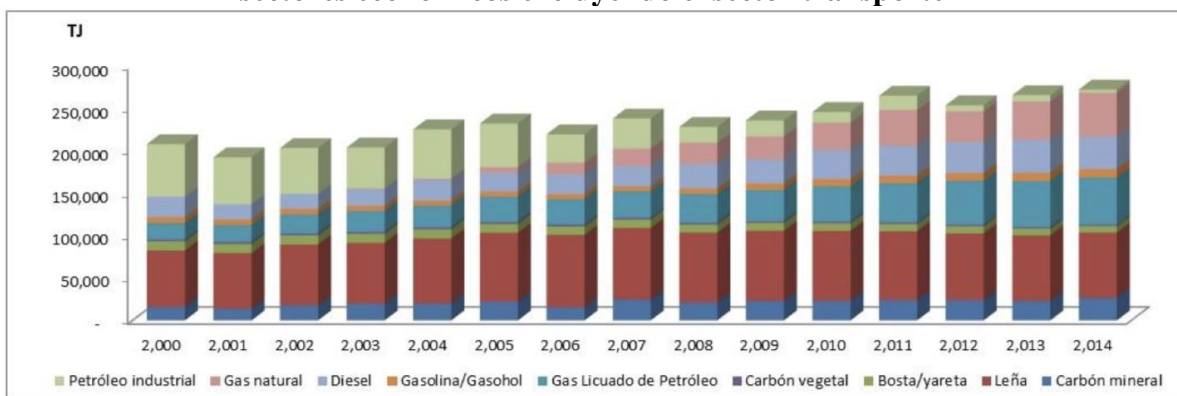
En relación con los GEI estimados, se puede observar que el 75.2% de las emisiones en GgCO₂eq corresponde a CO₂, el 15.1% a CH₄ y el 9.6% a N₂O,

Las emisiones de CO₂, que totalizan 126,082.6 Gg (considerando absorciones), provienen principalmente de los sectores USCUS (57.8%) y Energía (37.5%). (MINAM, 2014)

A nivel nacional el consumo energético presenta un constante crecimiento. El cual está asociado al crecimiento poblacional, comercial e industrial que genera un aumento en la demanda de energía y que repercute de forma positiva en el Producto Bruto Interno (PBI). Por el lado de la demanda de energía, se puede apreciar la tendencia sobre los consumos energéticos (TJ) de los distintos tipos de combustible por los sectores económicos. (MINAM, 2014)

Se puede observar en la Gráfica 3 que los combustibles más representativos utilizados son el gas licuado de petróleo y el gas natural luego de la leña.

Gráfica 3. Tendencia del consumo de combustible en los sectores económicos excluyendo el sector transporte



Fuente: MINEM, (2017)

2.2.4.2 Eficiencia energética

La eficiencia energética está directamente relacionada a la disminución del impacto ambiental en las ladrilleras, ya que, en términos de optimización de los procesos productivos y reducción de emisiones de GEI producto del empleo de combustibles más limpios y su menor demanda con relación al producto

obtenido por parte del horno empleado, contribuye a la disminución de su huella de carbono.

El Instituto de Estudios Ambientales y de Energía (EESI) define a la Eficiencia energética como un término que hace referencia al menor uso de energía para desarrollar una misma tarea, eliminando el desperdicio de la energía. La eficiencia energética trae varios beneficios como reducir las emisiones de los GEI, reducir la demanda de suministros energéticos, disminuyendo costos y mitigar el cambio climático.

Por otro lado, el Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras de América Latina para mitigar el Cambio Climático (EELA), relaciona su uso de manera óptima con los recursos energéticos sin alterar los procesos en la producción de ladrillos, en búsqueda de reducir el consumo de energía; lo que trae consigo beneficios y ventajas económicas y ambientales. Además, afirman que el empleo de técnicas, tecnologías y procesos más eficientes repercute en la disminución de consumo de energía. Las medidas a emplearse abarcan desde soluciones más simples y de bajos costos como son las técnicas de engrosamiento de paredes de los hornos, distribución y reacomodo uniforme de ladrillos al interior de los hornos, etc., hasta medidas de carácter más elaboradas y complejas que si bien representan costos altos de implementación como la adopción de hornos alternativos continuos de eficiencia alta, estos pueden ser económicamente atractivos en un periodo a largo plazo por el ahorro energético y mayor capacidad de producción.

La eficiencia energética en la producción de ladrillos está representada por su consumo específico de energía, pudiendo ser consumo de energía eléctrica o consumo de combustible, la cual, se da por su relación con el producto final. Es decir, la división de toneladas de combustible entre toneladas de ladrillo cocido; lo cual da un indicador ambiental que refleja el nivel de uso eficiente o ineficiente de la energía empleada para la obtención del ladrillo. Es así como

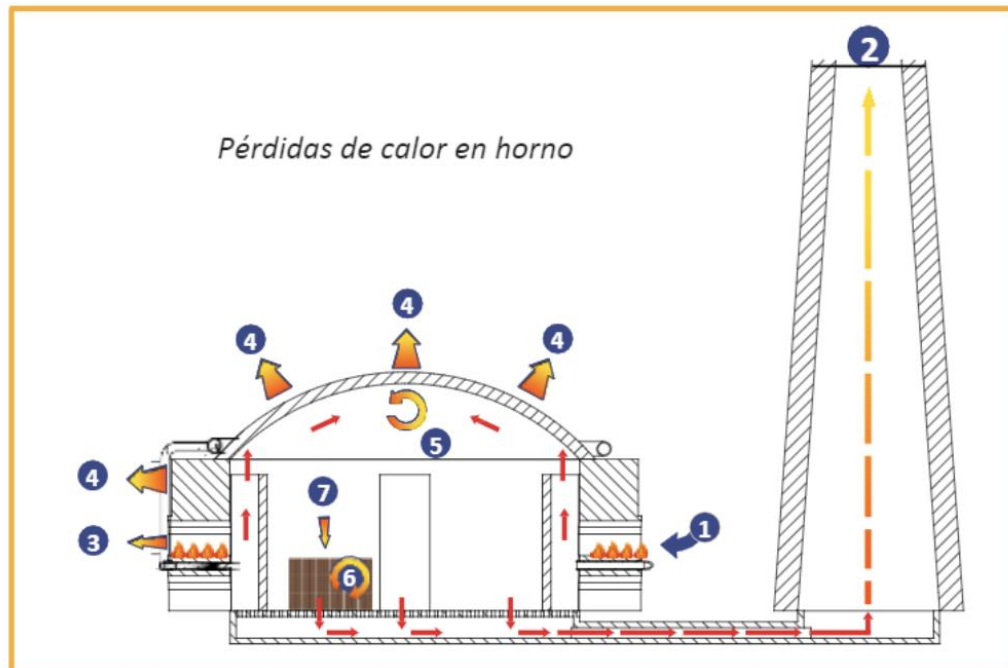
la eficiencia energética estaría relacionada al cálculo de la Huella de Carbono, sólo que esta se encuentra en términos de emisiones de GEI y está representada por la relación entre cantidad de combustible empleado, por su factor de emisión y la cantidad de ladrillo cocido. Obteniéndose de esta manera las Emisiones de CO₂eq por producto final, que equivalen al indicador ambiental, el cual es la Huella de Carbono.

Por lo tanto, el uso eficiente de energía tiene que estar asociado al ahorro de energía. Lo que traerá consigo beneficios no sólo en cuanto al ahorro económico en el consumo del combustible, sino también en la mayor capacidad de producción de ladrillos obtenidos, reducción de pérdidas o mermas y mejora de la calidad del producto final.

En el proceso productivo del ladrillo, se toma en cuenta el proceso de cocción, ya que, es el mayor representativo en cuanto a consumo energético que demanda el 95% del total de la energía térmica empleada en todos los procesos productivos. En términos de ahorro de energía, se debe tener en cuenta el funcionamiento y principios de operación de los hornos de cocción. Es fundamental la optimización del calor obtenido producto de la combustión del combustible dentro de los hornos, ya que sólo una parte de éste es aprovechada para la cocción del ladrillo, representando un desperdicio del resto del calor obtenido. Su mayoría es desperdiciada a través de puntos de pérdida de calor ya sea mediante gases de combustión que escapan a través de la chimenea, almacenados en las paredes y techo de los hornos o retenido físicamente en las propias unidades de ladrillo cocido.

El EELA propone diferentes situaciones relacionadas a las pérdidas de calor que se dan en un horno de cocción de ladrillos las cuales se demuestran en la Figura 12.

Figura 12. Flujo de calor en un horno de cocción de ladrillos



Fuente: EELA, (2015)

1. Suministro de calor / quema de combustible
2. Pérdida de calor en los gases de combustión / chimenea
3. Pérdida en aberturas y rendijas
4. Pérdidas a través de paredes y techo / bóveda
5. Calor acumulado en las paredes del horno
6. Calor acumulado en las piezas producidas
7. Calor útil absorbido por las piezas en la cocción. *EELA, (2015)*

Es esencial que la cocción de los ladrillos contemple la menor cantidad posible de combustible empleado, representado en el menor gasto de la energía en los puntos de pérdida de calor, ya sea mediante el uso alternativo de tecnologías que reduzcan dicho gasto de energía o aprovechando la recuperación del calor residual para su empleo como suministro energético del proceso productivo de secado.

2.2.4.3 Método de medición de la huella de carbono del IPCC

Para la evaluación de la Huella de Carbono en la ladrillera, se empleó el método de medición según las Directrices del IPCC, debido a que los criterios para su elección deben ser basados en la actividad productiva. Los cuales son, en primer lugar, definir el alcance de la actividad a evaluar; en este caso tiene un alcance directo, ya que, las emisiones producto de los procesos de combustión del combustible son originadas por la propia organización. En segundo lugar, se eligió este método por que presenta estimaciones más precisas debido a la reducción de la incertidumbre en los cálculos. Esto se debe a que el Perú no presenta un inventario de factores de emisión (FE) de combustibles, en cambio, las directrices contemplan un inventario propio de factores de emisión promedio sobre las cuales se pueda estimar la cantidad de combustible empleado; y dadas las características propias del CO₂, las estimaciones cuentan con gran exactitud, ya que, los factores de emisión van a depender del carbono promedio encontrado en el combustible donde no influyen las condiciones de combustión, la tecnología empleada, eficacia del proceso de quemado, etc. Y tercero, la relación del método con las organizaciones y programas involucradas con el Protocolo de Kyoto; compromiso que mantiene el Perú para la disminución de los GEI.

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) fue creado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en el año 1988, para poder facilitar las evaluaciones e investigación científica acerca del cambio climático y poder formular diferentes políticas referentes al cambio climático las cuales también tienen el objetivo de complementar las negociaciones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). De esta forma se originan las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero las cuales proponen métodos de estimación de los inventarios nacionales de emisiones de GEI originados por la actividad humana. El alcance de las Directrices abarca métodos de estimación de los

gases de diferentes categorías, energía, procesos industriales y uso de productos, agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra y desechos.

Por lo tanto, este método en el proceso de cocción de ladrillos se debe aplicar en la categoría de Energía. Para la mayoría de las economías, los sistemas de energía se mueven por la combustión de los combustibles fósiles. Durante los procesos de combustión, el C y H, componentes propios de los combustibles fósiles, se obtiene principalmente CO_2 y H_2O , que liberan la energía química del combustible en forma de calor. El sector energético suele ser el más importante de los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero y, comúnmente, aporta más del 90% de las emisiones de CO_2 y 75% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero de los países desarrollados. El CO_2 normalmente representa el 95% de las emisiones del sector energético, mientras que el metano y el óxido nitroso son responsables del porcentaje restante. La combustión estacionaria normalmente representa un 70% de las emisiones de GEI del sector energético. Alrededor de la mitad de estas emisiones se relaciona con la combustión de las industrias de la energía, principalmente de las centrales eléctricas y las refinerías. (IPCC, 2006)

En términos generales, la base metodológica para poder estimar la huella de carbono en una organización se obtiene mediante el producto de la actividad, ya sea un parámetro del grado de la actividad que genera los GEI y los factores de emisión (FE) que son la cantidad promedio de GEI emitida como resultado de la actividad.

Son 3 los niveles para la estimación de las emisiones producto de los procesos de combustión de combustibles fósiles. Esto es debido a que, la mayoría del C del combustible se emite de inmediato como CO_2 . Posteriormente, parte de este es liberado como monóxido de carbono CO, metano CH_4 o compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano. Las cantidades obtenidas de los gases diferentes a CO_2 , son muy pequeñas, por lo que su estudio en el Nivel 1, es más

exacto al estar basada la estimación del CO₂ en el carbono total del combustible. Esto se debe a que el CO₂ depende tan solo del combustible, mientras que las emisiones de los demás gases dependen de muchos diferentes criterios como las tecnologías empleadas, el mantenimiento, etc., de los cuales, no se tiene mucha información al respecto.

El inventario ofrece los factores de emisión por defecto para el CO₂, aplicables a todos los procesos de combustión, tanto estacionarios como móviles.

- Nivel 1: El método del Nivel 1 se basa únicamente en el combustible, dado que las emisiones resultantes de las fuentes de combustión son calculadas por tanto las cantidades de combustible al momento de la combustión y los factores de emisión promedio.
- Nivel 2: En el método del segundo nivel, se calculan las emisiones de la combustión, las cuales se originan a partir de estadísticas similares de combustible, del mismo modo que en el método del Nivel 1. Sin embargo, para este método se consideran los factores de emisión específicamente para cada país.
- Nivel 3: En los métodos del Nivel 3, se da a un nivel más complejo los cuales demandan el uso de mayor trabajo e información ya que para su desarrollo se toman en cuenta modelos de emisión más detallados. Por otro lado, su empleo correcto correspondería a un cálculo más preciso de las mediciones de GEI no CO₂. (IPCC, 2006)

Método del nivel 1: Se utilizó este método Nivel 1 para poder medir los GEI en la cocción del ladrillo donde se requiere lo siguiente para obtener las emisiones de GEI:

- Datos sobre la cantidad de combustible consumido en la categoría de fuente
- Factor de emisión por defecto

Ecuación 1. Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la combustión estacionaria

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PROCEDENTES DE LA COMBUSTIÓN ESTACIONARIA

$$Emisiones_{gases\ efecto\ invernadero} = Consumo_{combustible} \cdot Factor\ de\ emisión_{GEI,combustible}$$

Fuente: IPCC, (2006)

Donde:

- $Emisiones_{GEI\ combustible}$ = emisiones de un gas de efecto invernadero dado por tipo de Combustible (kg GEI)
- $Consumo_{combustible}$ = cantidad de combustible quemado (TJ)
- $Factor\ de\ emisión_{GEI,combustible}$ = factor de emisión por defecto de un gas de efecto invernadero dado por tipo de combustible (kg gas/TJ). Para el caso del CO₂, incluye el factor de oxidación del carbono, que se supone es 1.

Se debe tomar en cuenta que el consumo de combustible debe estar expresado en unidades de energía y no de masa o volumen, ya que, los factores de emisión (FE) de CO₂ obtenidos en la combustión de los combustibles fósiles son expresados en unidades de energía porque de esta forma el contenido de carbono de los combustibles es menos variable. Entonces, se deben utilizar los valores caloríficos netos (VCN) a manera de conversión de las unidades de masa o volumen a energía del consumo de combustible.

Los factores de emisión (FE) se refieren a la cantidad máxima de energía liberada por unidad de combustible consumido obteniéndose la totalidad máxima del CO₂ producto de la oxidación del carbono disponible en el

combustible. Este relaciona la cantidad de contaminante emitido con la energía producida por el combustible. La cantidad de carbono que se encuentra en un combustible se refiere a la masa de átomo de carbono con respecto a su total, la cual corresponde a una propiedad química de carácter intrínseca y por consiguiente no depende del proceso de combustión en sí. Asimismo, la cantidad de energía o valor calorífico de los combustibles también es una propiedad química intrínseca. Los cuales calculan el contenido de calor que ha sido liberado al darse una combustión completa del volumen total del combustible empleado, y se hace la suposición de que el agua que resulta de dicha combustión se transforma en vapor y su calor no es recuperado.

Para poder lograr la mayor cantidad de dióxido de carbono, se debe optimizar en su totalidad los procesos de combustión, y de esta forma derivar la mayor cantidad de energía posible por la cantidad del combustible empleado. Al haber una combustión completa del combustible, se garantiza que la oxidación del total del carbono que se encuentra en dicho combustible se haya dado de manera eficaz. Por lo tanto, se infiere que los factores de emisión de CO₂, son irrelevantes en cuanto al proceso de quema en sí, dependiendo de esta forma en su totalidad del contenido de carbono del combustible. Estos factores de emisión son valores por defecto sugeridos únicamente si no están disponibles los factores específicos del país. (IPCC, 2006)

Para calcular el total de emisiones por gas de la categoría de fuente, se suman las emisiones calculadas en la Ecuación 2 para todos los combustibles:

Ecuación 2. Total de emisiones por gas de efecto invernadero

TOTAL DE EMISIONES POR GAS DE EFECTO INVERNADERO

$$Emisiones_{GEI} = \sum_{combustibles} Emisiones_{GEI,combustible}$$

Fuente: IPCC. (2006)

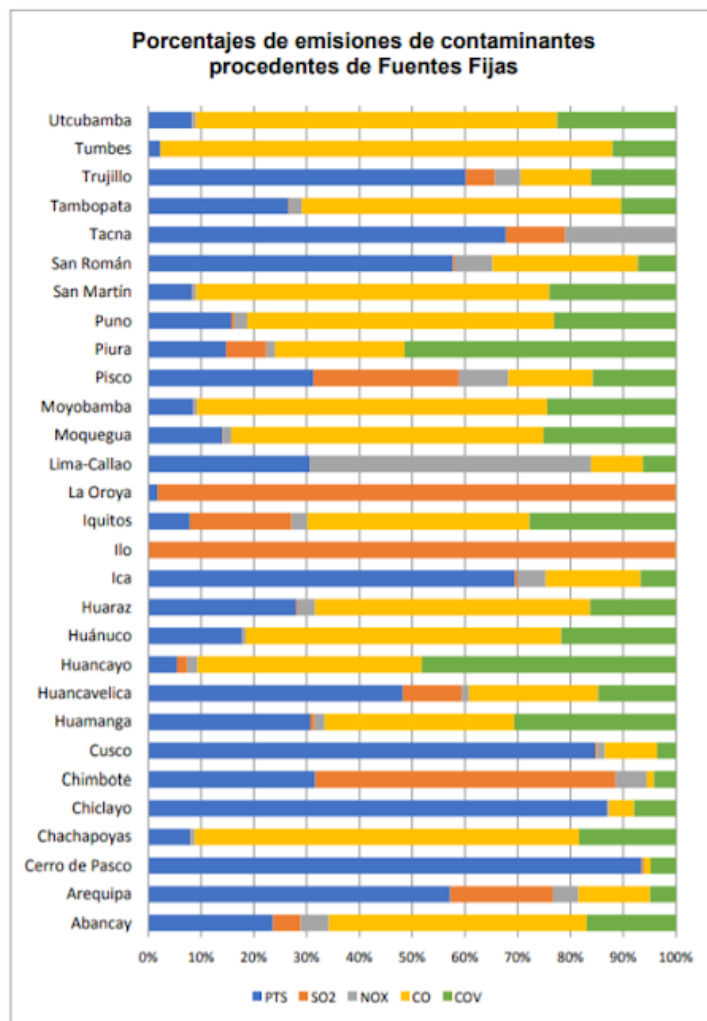
Finalmente, se obtiene la Emisión de GEI por producción mediante la relación entre el total de emisiones obtenidas con la producción del ladrillo cocido. El indicador obtenido representa la eficiencia energética en cuanto al empleo del combustible y el horno de quemado.

2.2.5 Impacto Ambiental Ladrilleras en Perú

El impacto ambiental en el sector de ladrilleras se da principalmente debido a las emisiones generadas en los hornos en el proceso de cocción de los ladrillos, generando impactos en la calidad del aire. De acuerdo con el informe nacional de la calidad del aire realizado por el MINAM, Arequipa se ha considerado como Zona de Atención prioritaria (ZAP). Se considera Zona de Atención prioritaria (ZAP) a aquellas que cuenten con centros poblados o poblaciones mayores a 250,000 habitantes o una densidad poblacional por hectárea que justifiquen su atención prioritaria o con presencia de actividades socioeconómicas con influencia significativa sobre la calidad del aire. (OCDE & CEPAL, 2016)

De acuerdo con el inventario de emisiones en Arequipa, se constituye a Ladrilleras, cementeras, parque automotor (vehículos) como las principales fuentes de contaminación (MINAM, 2014).

Gráfica 4. Porcentajes de emisiones de contaminantes procedentes de Fuentes Fijas



Fuente: MINAM, (2014)

En la Gráfica 4 se aprecia de manera comparativa los porcentajes de emisiones de material particulado (como partículas totales en suspensión PTS), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV) e hidrógeno sulfurado (H₂S) liberadas por fuentes fijas constituidas tanto por fuentes puntuales (como industrias, ladrilleras y otros grandes procesos productivos) y fuentes de área (panaderías, pollerías, talleres, etc.). (MINAM, 2014)

Dado que, una de las principales fuentes de contaminación en Arequipa es el sector ladrillero, el uso alternativo de una tecnología limpia resulta un recurso importante

para la calidad del aire de la ciudad. Sin embargo, son varias las barreras para lograr tal objetivo.

Según EELA al 2015, en Brasil había 70 hornos túnel y en Perú solo 5. Esto se ha ido modificando a lo largo de los años, debido a que requiere de una inversión muy grande, que está muy lejos de los capitales reales de emprendedores peruanos ladrilleros. Lo que se traduce en un impacto ambiental negativo en Perú muy elevado por falta de hornos eficientes. Respecto de la utilización de estos hornos en Perú, los más populares son los Abovedados, Hoffman y Túnel.

De acuerdo con las estadísticas presentadas por EELA en el 2015, en Arequipa encontramos gran cantidad de ladrilleras artesanales, las cuales año a año, van desapareciendo debido a la preferencia del público constructor en el ladrillo mecanizado y al cambio del uso de tecnologías en la fabricación de ladrillos, convirtiéndose más eficientes. Los hornos utilizados más comúnmente son los hornos Hoffman, utilizando combustible de aceite quemado, que es recolectado por gente que se dedica a recorrer los lubricentros para recoger los desechos de aceites que han sido retirados en el servicio de cambio de aceite de los carros. Esta práctica es totalmente nociva y a vista de las autoridades que no hacen nada por impedirlo, siguen lucrando, por la falta de conciencia ambiental de los fabricantes de ladrillos y por lo rentable que les supone poder seguir adquiriendo este combustible a bajo precio, que en buena cuenta propicia la competencia desleal ofreciendo sus ladrillos a bajo precio, en contra de ladrilleras que sí han invertido en tecnologías limpias a gas natural.

Algunos también utilizan en su quema, diésel mezclado con aceite quemado o guano de auquérido mezclado con aceite quemado como suministro energético, así como también para sus secaderos, igualmente contribuyendo al deterioro de la calidad ambiental mediante la generación de GEI. La problemática recae en la realización de dichas prácticas sin ninguna regulación o fiscalización, y autoridades que no actúan en contra de estas empresas; porque según ellas; cumplen con la normativa de poseer el Instrumento de Gestión Ambiental; obligatorio para las industrias.

En Arequipa, existe sólo una fábrica de ladrillo con horno túnel, que utiliza gas natural, que recicla calor residual para sus dos secaderos, cumpliendo al 100% con la normativa ambiental, por no producir GEI y mitigar satisfactoriamente el cambio climático. Las autoridades competentes Ministerio de la producción y Ambiente y la OEFA, deben cumplir con roles más prácticos y realistas. Ya que hay total desconocimiento del rubro de este sector.

2.2.5.1 Evaluación de Impactos Ambientales

En la “Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental” propuesta por Vicente Conesa Fernández y sus colaboradores en el año 1993, se presenta la metodología CONESA que, a su vez, deriva de la metodología del Instituto Battelle Columbus y la Matriz de Leopold. Esta metodología identifica los impactos significativos que se pueden presentar antes de la ejecución de un proyecto, obra o actividad. De acuerdo con Vicente Conesa, la importancia del impacto se mide “en función, tanto del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida, como de la caracterización del efecto, que responde a su vez a una serie de atributos de tipo cualitativo tales como extensión, tipo de efecto plazo de manifestación, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación y periodicidad”. (Conesa, 1997)

Por lo que, la Matriz de Valoración de Impactos Ambientales según Conesa, consiste en valorar los aspectos clasificados en cada componente (físico, biológico, socioeconómico) para cada etapa del proyecto, según once criterios, los cuales, componen la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Importancia del Impacto

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Dónde:

I = Importancia del impacto

± = Naturaleza del impacto.

i = Intensidad o grado probable de destrucción

EX = Extensión o área de influencia del impacto

MO = Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto

PE = Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto

RV = Reversibilidad

SI = Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples

AC = Acumulación o efecto de incremento progresivo

EF = Efecto (tipo directo o indirecto)

PR = Periodicidad

MC = Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos

Signo (+/ -)

El signo del impacto hace alusión al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.

Intensidad (I)

Este término se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en el que actúa. El baremo estará comprendido entre 1 y 12, en el que 12 expresará una destrucción total del factor en el área en la que se produce el efecto y el 1 una afección mínima.

Extensión (EX)

Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del Proyecto dividido el porcentaje del área, respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto.

Momento (MO)

El plazo de manifestación del impacto alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción (t_0) y el comienzo del efecto (t_j) sobre el factor del medio considerado.

Persistencia (PE)

Se refiere al tiempo que permanecería el efecto desde su aparición y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras.

Reversibilidad (RV)

Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el Proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez que aquella deja de actuar sobre el medio.

Recuperabilidad (MC)

Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del Proyecto, es decir la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras).

Sinergia (SI)

Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. El componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente, no simultánea.

Acumulación (AC)

Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.

Efecto (EF)

Este atributo se refiere a la relación causa-efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.

Periodicidad (PR)

La periodicidad se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular), o constante en el tiempo (efecto continuo).

Dicha ecuación nos permite calcular la importancia del impacto ambiental, que, depende del valor que se le asigne a cada criterio, puede variar entre 13 y 100 (Conesa, 1997) y se define según la siguiente clasificación:

> 25: Irrelevante o compatible

25 – 30: Moderado

25 – 75: Severo

< 75: Crítico

2.3 Marco Legal

Tabla 3. Marco Legal

NORMA	DISPOSICIÓN
<p>Constitución Política del Perú de 1993</p>	<p>La constitución establece lineamientos como norma fundamental con el fin de velar por el bien de los peruanos.</p> <p>En cuanto al medio ambiente, plantea como deber la protección de este, su entorno como medio esencial de vida y recursos naturales.</p> <p>Lo cual se encuentra estipulado en el artículo 2 del capítulo I, donde señala que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; en el capítulo II donde se refiere al ambiente y los recursos naturales, señala un aprovechamiento bajo el enfoque del desarrollo sostenible y la determinación de la política nacional del ambiente.</p>
<p>Ley N° 28611, Ley General del Ambiente</p>	<p>Norma para la gestión ambiental en el Perú en la cual se establece la regulación y lineamientos que aseguren el ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado propicio para el desarrollo de la vida, y además cumplir con efectiva gestión ambiental y protección del ambiente, y su población bajo un contexto de desarrollo sostenible.</p>
<p>Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del impacto ambiental</p>	<p>Esta normativa tiene como fin la creación del SEIA como sistema en todo lo referido a los impactos ambientales negativos de origen antrópico, por lo cual se establecen procesos y alcances de las evaluaciones del impacto ambiental.</p>

<p>Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental</p>	<p>En su normativa se plantea el cumplimiento de los objetivos ambientales de las entidades públicas, fortalecer y asegurar que se cumplan los mecanismos de transectorialidad en la gestión ambiental, ya sea el MINAM, los organismos sectoriales, regionales o locales a fin de cumplir con sus actividades atribuidas correspondientemente.</p>
<p>Decreto Supremo N° 012- 2009- MINAM, Política Nacional del Ambiente</p>	<p>Política que surge a partir del artículo 67 de la Constitución. Política del Perú como instrumento para la gestión del desarrollo sostenible del país a fin de garantizar la mejora de la calidad de vida de las personas, ecosistemas saludables y aprovechamiento y conservación de los recursos naturales.</p>
<p>Resolución Legislativa N° 26185, Aprueban Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático</p>	<p>Convención que tiene como fin mantener y disminuir las concentraciones de GEI emitidos a la atmósfera de fuentes antropogénicas, permitiendo que el desarrollo económico se mantenga de manera sostenible.</p> <p>Para lo cual las partes que asumieron compromisos en esta Convención adoptarán programas y medidas para la contención del cambio climático a fin de reducir las emisiones antropogénicas de GEI.</p>
<p>Decreto Supremo N° 080-2002- RE, Ratificación del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático</p>	<p>Mediante el cual el Perú asume los compromisos del protocolo de Kyoto de la CMNUCC, los cuales se basan en la cuantificación de limitación y reducción de emisiones de GEI fomentando la eficiencia energética en las actividades y que puedan regirse bajo un desarrollo sostenible.</p>
<p>Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático</p>	<p>Como respuesta a cumplir los compromisos asumidos por el Estado establecidos en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático CMNUCC, esta norma señala disposiciones y principios para la mitigación</p>

	<p>del cambio climático y reducir las emisiones de carbono en cumplimiento de los compromisos internacionales.</p> <p>En el artículo 54, se crea la Huella de Carbono Perú como una herramienta voluntaria para promover la medición de emisiones de GEI para organizaciones privadas y públicas, con el objetivo de reducir sus emisiones de GEI, que contribuyen a la gestión integral frente al cambio climático.</p>
<p>Ley N° 27345, Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía</p>	<p>Normativa que impulsa el uso eficiente de los recursos energéticos en cuanto al suministro energético, contemplando un desarrollo sostenible en búsqueda de un balance entre el desarrollo económico y la conservación del medio ambiente. Promueve la eficiencia energética mediante la formulación y ejecución de sistemas, implementación de tecnologías y programas que contribuyan al uso eficiente de la energía.</p>
<p>Decreto Supremo N° 086-2003, Estrategia Nacional sobre Cambio Climático</p>	<p>Manifiesta líneas estratégicas de acción a ser incluidas en políticas y programas intersectoriales de eficiencia energética y uso de energías renovables en los diferentes sectores productivos a fin de lograr la reducción de los impactos del cambio climático controlando las emisiones de GEI.</p>
<p>Decreto Supremo N° 058-2016-RE, Ratifican el acuerdo de París</p>	<p>Posterior a los compromisos asumidos en la COP20/CMP10, en respuesta mundial a la amenaza del cambio climático en el contexto del desarrollo sostenible, se ratifica el acuerdo de París en el 2016 con el fin de evitar el incremento de la temperatura, cumplir la meta de crecimiento bajo de carbono, y cumplir con la implementación de medidas de mitigación, adaptación.</p>

<p>Norma Técnica Peruana ISO 14064-1:2016, NTP sobre gases de efecto invernadero, uso racional de energía y otros</p>	<p>Se especifican los principios y requisitos para la cuantificación de las emisiones de GEI a nivel de una organización, mediante el planteamiento del diseño y gestión de los inventarios de los Gases de Efecto Invernadero.</p>
<p>Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias</p>	<p>Se crean los Estándares de Calidad Ambiental para el Aire (ECA), mediante parámetros de concentración de emisiones, sustancias, elementos presentes en el aire que no representen un riesgo considerable y peligroso para la salud tanto de las personas como del ambiente.</p>

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y nivel de Investigación

El tipo según el enfoque es cuantitativo y nivel aplicativo – correlacional, ya que, se asocian variables, que permiten predicciones y cuantifican relaciones entre conceptos o variables (Hernández, et al., 2014).

3.2 Diseño de Investigación

El diseño de la investigación es no experimental longitudinal, ya que, toma datos en diferentes puntos del tiempo, para realizar inferencias acerca de la evolución del problema de investigación o fenómeno, sus causas y sus efectos (Hernández, et al., 2014).

3.2.1 Campo de verificación (ubicación y unidades de estudio)

La organización tiene como actividad principal la fabricación de ladrillos de arcilla. Se encuentra ubicada en el distrito de Cayma, al norte de la provincia y departamento de Arequipa, contando con una superficie y/o área de 13543.99 m², las cuales se distribuyen en Áreas de oficinas administrativas, Planta de máquinas y extrusión, Área de molienda, Área de secado y línea de vagones, Área de almacén de materia prima, Área de almacenamiento de ladrillo terminado.

3.2.2 Determinación de Población y Muestra

3.2.2.1 Población

La población donde se desarrolla esta investigación comprende a las industrias ladrilleras de Arequipa, con intereses en la reducción del impacto ambiental para lograr un desarrollo de la actividad productiva de forma sustentable mediante la adopción de una tecnología limpia.

3.2.2.2 Muestra

La muestra es de clase no probabilística, es decir que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra (Hernández, et al., 2014).

Por lo tanto, la muestra para esta investigación está determinada por la ladrillera del caso de estudio a implementar la tecnología limpia en su etapa productiva de los ladrillos en la ciudad de Arequipa. Ya que, esta depende directamente del esquema de investigación y la toma de decisiones.

3.2.3 Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos

De acuerdo con los métodos cuantitativos de recolección de datos establecidos en la literatura, se desarrollan las siguientes técnicas e instrumentos para lograr los procedimientos descritos anteriormente anteriores y se detallan a continuación:

- Observación

La recolección de datos se realizó mediante la observación de forma directa de la manifestación de los impactos ambientales en las actividades y procesos productivos, además del comportamiento y patrones de funcionamiento para obtener información útil para el estudio.

- Datos secundarios (recolectados por otros investigadores)

Se analizaron y sintetizaron las diferentes fuentes de información secundaria de los registros producto de la práctica de los investigadores acerca de las diferentes tecnologías limpias empleadas actualmente en los diferentes mercados, datos y conceptos de la actividad manufacturera en el sector del ladrillo y su impacto ambiental desde una escala internacional a una local.

- Instrumentos

Sistemas de medición: Mediante la determinación de indicadores ambientales para el análisis del desempeño ambiental y el empleo de datos obtenidos por los equipos de medición en la caracterización de cantidades y propiedades de las fuentes de contaminación generados en los procesos productivos. Para así procesar datos cuantitativos y tener una valoración de los impactos ambientales y la comparación de las emisiones tanto en la etapa inicial como en la etapa en la que ya se implementó la tecnología limpia.

- a. Método de medición de los indicadores ambientales mediante las Directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. Y haciendo uso de un medidor de porcentaje de indicador de nivel para la medición del consumo de combustible.
- b. Guía de Evaluación de Impacto y Matriz de Impacto ambiental de Vicente Conesa Fernández-Vitora (2010). Para aplicar una metodología de valoración cualitativa del impacto ambiental que se pueden presentar en ejecución del proyecto.

3.3 Métodos de la Investigación

3.3.1 Realización de diagnóstico de la situación inicial de la tecnología convencional – Horno de Tiro Invertido

Las condiciones y características que determinaron la situación inicial de la fábrica para tener una aproximación de su estado preliminar se plasmaron en un diagnóstico situacional que comprendió la caracterización del área, y la identificación y evaluación de los impactos ambientales obtenidos en la etapa de operación que involucra las actividades de los procesos productivos por la organización antes de la ejecución del proyecto.

Dicho diagnóstico se realizó de acuerdo con la metodología del proceso de elaboración del estudio ambiental determinado en la “Guía para la elaboración de la Línea Base” y “Guía para la Identificación y Caracterización de Impactos Ambientales” del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto ambiental – SEIA.

La estructura de esta metodología comprendió:

- Descripción y antecedentes del proyecto
- Definición del área de influencia
- Identificación de Impactos Ambientales
- Evaluación de Impactos Ambientales

3.3.1.1 Descripción y antecedentes

Se realizó una descripción de las características de la empresa donde se tomó en cuenta una breve reseña de esta, así como también una presentación cronológica de su evolución que además indicó la preocupación e inicio de la búsqueda de una tecnología limpia como respuesta a la problemática ambiental, social y económica presente.

3.3.1.2 Definición del área de influencia

Se realizó la descripción de los atributos y características del estado del área de estudio para la determinación del área de influencia, la cual comprendió tanto la directa como indirecta, donde se tomó en cuenta una descripción breve del ambiente físico y socioeconómico.

3.3.1.3 Identificación de Impactos Ambientales

Para poder identificar los Impactos Ambientales en la etapa de operación, fue necesario el análisis de la interacción entre los Aspectos Ambientales causantes de los impactos y los Factores ambientales, los cuales son los receptores. La identificación de los Aspectos Ambientales se dio a partir de la determinación de las actividades del proyecto a repercutir como impactos sobre los componentes ambientales.

a) Identificación de las actividades productivas y Aspectos Ambientales

La determinación de las actividades en la etapa de operación se realizó mediante la descripción de cada uno de los procesos productivos que intervienen en la fabricación de los ladrillos y realización de un diagrama de flujo. Su importancia radicó en la base para la determinación de Aspectos e Impactos Ambientales, ya que, estos se obtuvieron de acuerdo con cada proceso productivo y, por lo tanto, se pudo observar el proceso con mayor impacto al ambiente el cual requirió de una medida de control.

b) Identificación de los factores ambientales

La determinación de los factores ambientales físicos, biológicos y socio-económicos relevantes a la actividad de este sector productivo, abarcó la síntesis del área de influencia para cada elemento afectado, determinado previamente en el estudio del área de influencia y así se pudieron tomar en consideración los impactos ambientales potenciales relevantes sobre ellos.

c) Identificación de Impactos Ambientales

Se logró la identificación de los Impactos Ambientales en la etapa de operación mediante dos metodologías propuestas en la Guía para Identificación de Impactos Ambientales SEIA:

- Lista de Chequeo

La Lista de Chequeo correspondió a una metodología que integra los factores físicos, biológicos y sociales a ser afectados por las actividades del proyecto y permitió que se identifiquen los Impactos Ambientales producidos.

- Matriz de Identificación de Impactos Ambientales.

La Matriz de Identificación de Impactos Ambientales consistió en la representación de tablas, la integración de las actividades y componentes ambientales que produjeron un Impacto Ambiental, al cual se le clasificó un tipo de alteración ya sea al aire, suelo y fauna.

3.3.1.4 Caracterización del Impacto Ambiental de la tecnología convencional

La evaluación de los Impactos Ambientales en la etapa de operación implicó su caracterización, valoración y jerarquización. Se realizó una valoración del impacto inicial de la tecnología convencional (Horno de Tiro Invertido con un suministro energético de Aceite Residual 500) mediante la Matriz de Importancia de Vicente Conesa (2010) para corroborar en qué etapa del proceso se produjo la mayor contaminación y tener una línea base para poder hacer la posterior comparación.

3.3.1.5 Evaluación de la huella de carbono como indicador de GEI.

La evaluación de la huella de carbono como indicador de GEI consideró la verificación de la disminución del impacto generado por el aspecto ambiental significativo encontrado, lo cual, se logró mediante la implementación de un nuevo horno y el cambio de combustible (de R-500 a GLP), los cuales, permitieron reducir las emisiones de CO₂eq. Por lo que, se debió realizar dicha evaluación tanto en la etapa inicial como posterior a la implementación, denominadas evaluación ex ante y evaluación ex post; manteniendo el mismo indicador ambiental y por lo tanto el mismo producto de referencia y materias primas. La mejora en el indicador ambiental de GEI, se determinó por la diferencia entre la medición Ex ante y Ex post.

Se realizó una evaluación ex ante de la actividad productiva para la evaluación de la Huella de Carbono, la cual, se refiere a evaluaciones del Horno de cocción de Tiro Invertido empleando combustible Aceite R500, mediante el monitoreo y valoración del indicador ambiental de GEI en condiciones normales de operación. Mediante el método de medición de los indicadores ambientales de las Directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático IPCC (2006), se obtuvo la huella de carbono; la cual se basó en la obtención de las emisiones específicas medidas por la reducción del consumo de combustible por producción de ladrillo como se observa a continuación:

Fórmula para hallar la Huella de Carbono
(Indicador ambiental: t CO₂eq/ t de ladrillo cocido)

Emisión de dióxido de carbono → CO₂eq por cantidad de producto obtenido:

$$\mathbf{t\ CO_2eq/ t\ de\ ladrillo\ cocido}$$

Fuente: Elaboración propia

El indicador ambiental de las emisiones GEI que reflejan la HDC, fue t CO₂eq por tonelada de ladrillo cocido, el ladrillo de referencia para la medición fue el Hueco H-15 y el indicador de combustible fue el aceite residual R500.

Y los pasos seguidos para hallar la Huella de Carbono fueron los siguientes:

a. Proceso de medición del combustible

En el periodo correspondiente a la jornada de trabajo de la cocción de ladrillos en el Horno N° 1 de 36 horas con 30 minutos donde se involucran todas las actividades que se desarrollan en el proceso de cocción desde la carga – encendido – cocción y enfriamiento, se determinó el consumo del combustible aceite R500 empleando el método de medición por nivel dentro del tanque, se utilizó una varilla graduada en centímetros introducida de manera perpendicular y se tomaron las lecturas del nivel de combustible en los 2 tanques de almacenamiento. Luego, el nivel alcanzado en la varilla fue medido en centímetros y mediante la siguiente ecuación se obtuvo el volumen correspondiente para poder realizar los cálculos del consumo de combustible.

Ecuación 1: Volumen del cilindro

$$volumen\ (m^3) = \pi \times r^2 \times h$$

Las mediciones de nivel se realizaron desde el inicio hasta el final del periodo de cocción del ladrillo, para obtener la diferencia del volumen consumido. La determinación del consumo de combustible debió ser certificada para lo cual

se realizó a encargo de una empresa consultora CINYDE S.A.C, quienes emplearon el método para la medición de consumo de combustible por nivel dentro de los tanques para obtener la cantidad de combustible consumido en el proceso de cocción, y nos brindó los datos de dicha medición necesarios para poder hallar la huella de carbono.

b. Cálculo de la energía liberada por el combustible R500 (TJ)

La energía liberada por el combustible se obtuvo mediante la multiplicación del volumen por la densidad y los valores caloríficos netos (VCN) del Aceite R500, como se expresa en la siguiente ecuación:

Ecuación 2: Energía liberada por combustible

$$Energía\ liberada\ por\ combustible\ (TJ) = Volumen(gal) \times \frac{3.785\ l}{gal} \times Densidad \frac{kg}{l} \times VCN \frac{TJ}{1000\ ton} \times \frac{1\ ton}{1000000kg}$$

Fuente: IPCC, (2006)

Se utilizaron los valores caloríficos netos (VCN) del combustible a manera de conversión de las unidades de masa o volumen a energía del consumo de combustible.

c. Cálculo de la emisión de CO₂eq del combustible (ton CO₂eq)

El total de emisiones de los GEI producto de la combustión del combustible R500 se obtuvo multiplicando la Energía liberada por consumo de combustible (TJ) por su Factor de emisión por defecto (Ton/TJ). Para lo cual, dicho método consideró que la combustión eficaz del combustible se encontró optimizada al derivar la mayor cantidad de energía por combustible consumido y, por lo tanto, se obtuvo la mayor cantidad de dióxido de carbono; es decir que garantizó la máxima oxidación del CO₂ en el combustible.

Por otro lado, el Factor de Emisión de CO₂ fue un valor por defecto, el cual, no guardó relación directa con el proceso de combustión, sino que dependió más que todo de su contenido de carbono.

Ecuación 3: Emisiones de CO₂eq del combustible

2.1

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PROCEDENTES DE LA COMBUSTIÓN ESTACIONARIA

$$Emisiones_{gases\ efecto\ invernadero} = Consumo_{combustible} \cdot Factor\ de\ emisión_{GEI, combustible}$$

Fuente: IPCC, (2006)

- d. Cálculo de las emisiones específicas de CO₂ por producción (ton CO₂eq/ton ladrillo cocido)

Las emisiones específicas de CO₂eq con respecto a la cantidad de ladrillo producido que corresponden a la Huella de Carbono, se obtuvieron mediante la relación de emisión de CO₂eq del combustible R500 hallada anteriormente y la cantidad de producto terminado ladrillo H15 cocido de producción. En base a ello, se obtuvieron las emisiones específicas para la producción en el Horno de Tiro Invertido N° 1 por tonelada de ladrillo cocido expresadas en la siguiente ecuación.

Ecuación 4: Emisión específica de CO₂eq por producción (Huella de Carbono)

$$Emisión\ específica\ de\ CO_2eq\ por\ producción = \frac{Emisión\ de\ CO_2eq\ combustible\ (ton\ CO_2eq)}{ladrillo\ cocido\ (ton)}$$

Fuente: IPCC, (2006)

3.3.2 Determinación de la tecnología limpia adecuada para la etapa de cocción de ladrillos mediante la metodología Scoring

Se determinó la mejor tecnología limpia adecuada para la etapa de producción de ladrillos, mediante la evaluación de las opciones de tecnologías limpias disponibles en el mercado, lo que permitió optar por aquella viablemente factible que satisfizo los requerimientos de la organización, para así lograr un análisis de ésta que permitió su adecuada implementación. Para esto:

- I. Se realizó un cuadro de comparación con datos bibliográficos de las diferentes alternativas encontradas en el mercado (Tabla 1).
- II. Para la valorización de las alternativas y posterior selección, se utilizó el método “Scoring”, el cual, se aplicó para identificar la alternativa adecuada en un problema de decisión multicriterio (Vejo et al., 2005). Consta de las siguientes etapas:

- a. Identificar la meta general del problema

Se determinó como meta general del problema la “elección de una mejora tecnológica para la etapa de cocción de ladrillos”

- b. Identificar las alternativas

Se tomaron las tecnologías revisadas en el marco teórico para su comparación:

- Horno de Tiro Invertido
- Colmena
- Paulistinha
- Vagón
- Cedan
- Hoffman
- Túnel
- FCBTK
- Vertical Continuo

- c. Listar los criterios a emplear en la toma de decisión

Se tomaron en cuenta criterios relevantes como:

- Emisiones a la Atmósfera
 - Calidad del Producto
 - Combustible Usado
 - Consumo de Energía Eléctrica
 - Capacidad de Producción
 - Inversión
- d. Asignar una ponderación para cada uno de los criterios:
Se designaron valores de mayor a menor a los criterios listados, de acuerdo con la importancia de cada uno de ellos.

Tabla 4. Valores de importancia

Valores	Significado
5	Muy importante
4	Importante
3	Importancia media
2	Poco importante
1	Muy poco importante

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Ponderación de criterios según importancia

Criterios	Ponderación
Emisiones a la Atmósfera	5
Calidad del Producto	5
Combustible Usado	4
Consumo de Energía Eléctrica	4
Capacidad de Producción	3
Inversión	2

Fuente: Elaboración propia

- e. Establecer en cuánto satisface cada alternativa a nivel de cada uno de los criterios

Se asignó valores por cada criterio en cada alternativa según la siguiente tabla:

Tabla 6. Valores de satisfacción de alternativas según criterio

Valores	Significado
1	Extra bajo
2	Muy bajo
3	Bajo
4	Poco bajo
5	Medio
6	Poco alto
7	Alto
8	Muy alto
9	Extra alto

Fuente: Elaboración propia

- f. Calcular el Score para cada una de las alternativas

Se determinó el Score de cada alternativa mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 5. Cálculo del Score de la alternativa

$$S_j = \sum_i w_i r_{ij}$$

Donde:

S_j : Score para la alternativa j

w_i : Ponderación para cada Criterio i

r_{ij} : Rating de la alternativa j en función del Criterio i

- g. Ordenar las alternativas en función del Score.

La alternativa con el Score más alto representó la alternativa a escoger.

3.3.3 Evaluación de la tecnología limpia implementada – Horno Túnel

Para lograr la evaluación de la tecnología limpia en la etapa de producción de ladrillo, se efectuó una nueva evaluación del impacto ambiental de los procesos productivos ya con la tecnología limpia implementada.

3.3.3.1 Valoración del Impacto Ambiental de la tecnología limpia

Dicha valoración se dio mediante la realización de la Matriz de Importancia de Vicente Conesa (2010), empleada después de la implementación de la nueva tecnología. Esta permitió establecer una importancia a cada impacto ambiental mediante parámetros de calificación en cuanto a la repercusión de las actividades del proceso productivo en los componentes ambientales.

3.3.3.2 Evaluación de la huella de carbono como indicador de GEI

Luego de la implementación del Horno Túnel como tecnología limpia alternativa, al igual que en la etapa de diagnóstico, la evaluación de la actividad productiva ex post se logró a través del método de medición de los indicadores ambientales mediante las Directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático IPCC (2006) y obtener la Huella de Carbono.

3.3.3.3 Comparación de los resultados de la evaluación de impactos ambientales y huella de carbono de la tecnología inicial con la tecnología escogida

a. Análisis comparativo del Impacto Ambiental

Se realizó un estudio comparativo entre las valoraciones del impacto ambiental inicial y final, es decir de las dos Matrices de Importancia de Vicente Conesa, mediante gráficas comparativas.

b. Análisis comparativo de la Evaluación de la huella de carbono

Se realizó el estudio comparativo de las evaluaciones ex ante y ex post obtenidas como resultado del método de las Directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático IPCC (2006) en la actividad productiva mediante gráficas y tablas comparativas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Realización del diagnóstico de la situación inicial de la tecnología convencional – Horno de Tiro Invertido

Se realizó el diagnóstico de la situación inicial de los impactos ambientales producidos en la etapa de producción de ladrillos con la tecnología de Horno de Tiro Invertido a base de aceite residual R500 como matriz energética; además, se halló la huella de carbono como indicador de GEI de dicha tecnología.

4.1.1 Descripción y Antecedentes

La empresa está dedicada a la fabricación y venta de ladrillos con varios años de experiencia desde sus inicios, hace más de 50 años de manera artesanal, hasta su mecanización hace más de 10 años. Se encuentra ubicada en una zona aledaña al cono de vuelo del aeropuerto en el distrito de Cayma. Su actividad es la fabricación de ladrillos de arcilla; mediante diferentes procesos productivos, los cuales requieren de suministro de energía eléctrica, combustibles y abastecimiento de agua potable. Como resultado de la fabricación además del producto terminado no se generan efluentes, pero sí emisiones a la atmósfera, residuos sólidos que provienen de las actividades de mantenimiento y mermas o producto residual de cada proceso que no son aprobados por control de calidad en cada uno de los procesos productivos. Sin embargo, estos son reutilizados como materia prima volviendo al proceso inicial del ciclo productivo.

En búsqueda de mejorar la calidad de sus productos, se vio la necesidad de lograr la mejora continua de los procesos productivos, dicha mejora data desde la implementación de un sistema de tecnología mecanizada hasta procesos productivos tecnificados y eficientes. Sin embargo, no sólo en búsqueda de estar al nivel competitivo en el mercado, incremento de la calidad del producto y ahorro económico sino que también bajo el contexto de la problemática ambiental actual que se viene dando debido al cambio climático y por consiguiente cumplir con la normativa que

regula la gestión ambiental en la industria manufacturera; es que se da la necesidad de la búsqueda de implementación de tecnologías alternativas limpias que no sólo contribuyan a la disminución del impacto ambiental sino también que contribuyan a la eficiencia de sus procesos productivos bajo un enfoque integrado de desarrollo sostenible. Es así que en vista de que el mayor problema de impacto ambiental aparente era generado por las emisiones atmosféricas específicamente en el proceso de cocción, con la finalidad de hacer el uso más eficiente de los recursos y procesos; se desarrolló el cambio de suministro energético de petróleo residual R500 a GLP mediante el cambio de una tecnología convencional que son los hornos de tiro invertido a una tecnología limpia que es el horno túnel que además disminuye el uso del recurso energético del secadero ya que el calor residual del horno es reutilizado por éste. Por lo tanto, la evaluación del impacto ambiental considera la etapa de operación productiva de la tecnología convencional y tecnología limpia, específicamente a mayor detalle en el proceso productivo de cocción del producto. Para lo cual, se identificaron impactos sobre los componentes ambientales susceptibles a alteración o generación de un impacto tanto en el ambiente como en la salud humana, así como sus efectos y alternativas de solución en la etapa de operación de la planta.

El proyecto se llevó a cabo durante 2 años donde se evidenció una eliminación absoluta de mermas debido a la recirculación de estos desechos en el proceso productivo, la eficiencia de la capacidad de cocción por tonelada de ladrillo y disminución de las emisiones a la atmósfera producto de la combustión del GLP. Por lo tanto, los beneficios obtenidos fueron a nivel económico, ambiental y social.

4.1.2 Descripción del área de influencia

a) Delimitación del área de estudio

El ámbito del área de estudio de la planta de la fábrica de ladrillos es en el distrito de Cayma, Provincia y Departamento de Arequipa en una zona aledaña al cono de vuelo del Aeropuerto Rodríguez Ballón.

El entorno inmediato está delimitado por el Este con terrenos eriazos de la misma empresa, por el Oeste con terrenos eriazos de origen público los cuales son una torrentera, por el Norte con una vía de trocha y área que forma parte del cono de vuelo del Aeropuerto Rodríguez Ballón, y por el Sur con terrenos Eriazos. Cuenta con una superficie total de 13543.99 m². El área de estudio se puede ver en el siguiente mapa de ubicación de la ladrillera (Figura13).

Figura 13. Mapa de ubicación de la ladrillera



Fuente: Elaboración propia

b) Definición del área de influencia

Para poder definir el área de estudio fue necesario la síntesis y determinación de los impactos ambientales y su extensión que propone la fase de la evaluación preliminar Scoping, basados en los criterios ambientales a ser caracterizados. Por lo tanto, como resultado de la fase de la evaluación preliminar Scoping luego de la observación y análisis preliminar de la actividad productiva, se determinaron los siguientes factores ambientales relevantes y los impactos ambientales.

El componente físico es el que se determinó como el más afectado, este comprende los siguientes factores relevantes.

- La atmósfera desde una aproximación inicial se determinó como el componente ambiental más afectado en la fabricación del ladrillo por la contaminación atmosférica debido a las emisiones producto del proceso de cocción. Los factores para tomar en cuenta en la atmósfera son la calidad de aire (afectado por las emisiones gaseosas y material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$).
- Seguidamente, se consideró en cuanto a Energía; el combustible y la energía eléctrica, cuyos efectos impactan en la disminución del recurso energético y contaminación atmosférica. En cuanto a Suelos; vibraciones, contaminación o calidad de suelo. En cuanto a Agua; consumo de agua superficial, cuyos efectos impactan en la disminución del recurso.
- El componente biológico no se determinó como relevante debido a las características del área de emplazamiento de la fábrica que carece de flora y fauna a primera vista por ser una zona eriaza; sin embargo, se encuentra vegetación de carácter ornamental plantadas por la empresa.
- Y finalmente, se consideró el componente social, que tomó en cuenta la demografía, vivienda, educación y economía como parte de la caracterización de la línea base para tener un alcance más amplio. El AID Socioeconómico corresponde a la población inmediata a las áreas aledañas contemplando la Urbanización César Vallejo y Urbanización Villa Corpac. Sin embargo, los

factores relevantes a la actividad de producción de ladrillos como síntesis de los criterios mencionados están relacionados a la generación de empleo, activación de la economía local y el riesgo de accidentes.

Se consideran dichos criterios ambientales, los cuales representan un sistema dinámico de la extensión de los impactos ambientales, y tanto sus relaciones e interacciones determinan el área de estudio donde se evidencian las afectaciones sobre los componentes ambientales. Contando con dichos criterios que conforman la fase de evaluación preliminar, se determinó la extensión de los impactos para los principales factores ambientales y además se tomó en cuenta las fronteras que determinan los límites de la zona de emplazamiento; los cuales están representados en el Área de influencia directa (AID) y el Área de influencia indirecta (AII). Los cuales, se encuentran representados más adelante, en el mapa de Áreas de influencia de la fábrica de ladrillos (Figura 14).

El Área de influencia directa (AID) corresponde a la zona directa de repercusión de los aspectos e impactos ambientales sobre los factores ambientales mencionados anteriormente. Considera en un radio de 40 m. a la redonda, correspondiente a un área de 6.38 ha, al área de emplazamiento de la fábrica, áreas aledañas a la planta, niveles de extensión de calidad de aire.

El área de Influencia Indirecta (AII) contempla la extensión de los impactos ambientales secundarios, los cuales son zonas que no se relacionan directamente a la fábrica sino con las interacciones de los impactos directos con los demás componentes ambientales.

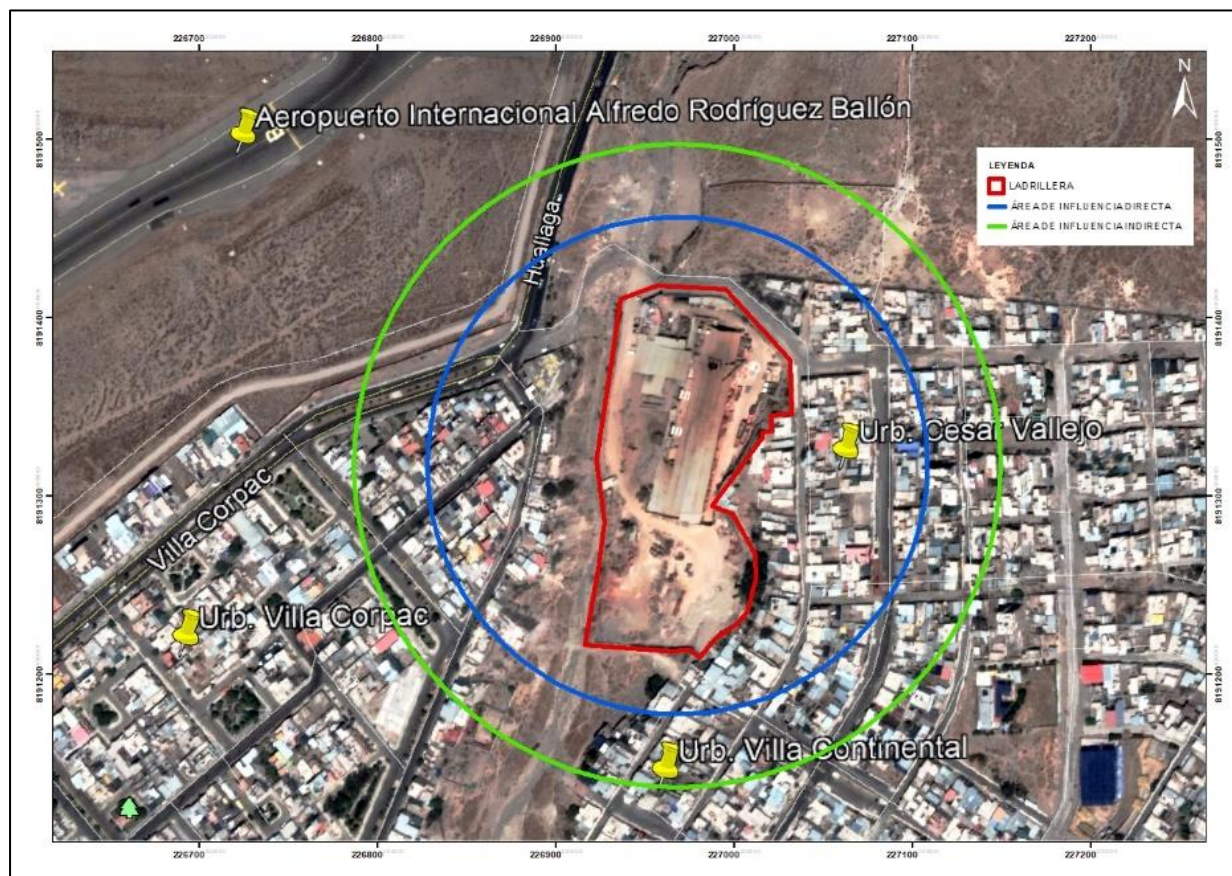
Los criterios de definición de esta área principalmente son la dirección y velocidad del viento, niveles de presión sonora, poblaciones cercanas, vías de acceso de uso común entre la fábrica y la población y la topografía de la zona. Dichos criterios están comprendidos en un radio de 80 m. a la redonda

correspondiente a un área de afectación de 10.68 m. Asimismo, se consideran también los principales impactos ambientales en la producción de ladrillos como las emisiones gaseosas teniendo en cuenta la dirección del viento de Oeste a Este, lo que se traduce en el impacto de la calidad aire desde el área de la planta hacia las poblaciones colindantes de la Urb. Villa Continental.

Y en cuanto a las poblaciones que se incluyen en la AII se consideran:

- Urbanización Cesar Vallejo se encuentra a una distancia de 0.04 km en dirección Oeste de la planta.
- Urbanización Villa Continental se encuentra a una distancia de 0.04 km en dirección Este y Sur de la planta.
- Urbanización Villa Corpac se encuentra a una distancia de 0.10 km en dirección Oeste de la planta.
- Avenida Villa Corpac se encuentra a una distancia de 0.10 km en dirección Oeste de la planta, tiene relación con esta por el transporte terrestre, servicio que es usado por la empresa.
- Colegio Casimiro Cuadros se encuentra a una distancia de 0.66 km en dirección Sureste de la planta.
- Colegio Víctor A. Belaunde se encuentra a una distancia de 0.83 km en dirección Suroeste de la planta.
- Comisaria Casimiro Cuadros se encuentra a una distancia de 0.67 km en dirección Sureste de la planta.
- Aeropuerto Internacional Rodríguez Ballón se encuentra a una distancia de 0.29 km en dirección Noroeste de la planta.

Figura 14. Áreas de influencia de la ladrillera



Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Descripción del medio

Se consideró una caracterización de los factores ambientales de los atributos y características del estado del área de estudio relevantes, los cuales se clasifican como físicos y socioeconómicos ya que ambos aspectos se encuentran acorde a las características propias de sus efectos causados por las actividades productivas.

a) Medio Físico

Calidad de aire:

En general la ciudad de Arequipa se encuentra altamente contaminada como consecuencia de su topografía y la excesiva cantidad del parque automotor, los

cuales provocan grandes cantidades de CO₂, CO, SO₂ y NO_x, constituyéndose en una zona ya impactada. Siendo la contaminación atmosférica un problema relevante desde hace más de 20 años a la actualidad acentuada por el desarrollo del auge económico de la mano con el crecimiento urbano.

La principal alteración de la calidad del aire se deriva del parque automotor, y teniendo en cuenta que las vías de acceso para la Ciudad de Arequipa y a todos los pueblos que se encuentran en esta ruta.

Si bien las fuentes móviles emiten la mayor cantidad de gases contaminantes debido al incremento del parque automotor, las fuentes de área también contribuyen al deterioro de la calidad del aire. En estas fuentes de área, es decir los comercios que emiten emisiones considerables en conjunto de acuerdo con su rubro, el Plan de Acción 2016 encontró los siguientes valores de emisiones por las ladrilleras artesanales (Tabla 7).

Tabla 7. Emisiones de fuentes de área de la ciudad de Arequipa.

Tipo de Fuente	Nº	Emisiones Totales (toneladas por año)					
		PTS	SO ₂	NO _x	CO	COV	SO ₃
Ladrilleras Artesanales	189	1493.00	115.00	11.00	332.00	66.00	0.00
Curtiembres	51	1.52	3.13	0.30	9.09	1.82	0.00
Pollerías	385	59.41	0.00	43.18	986.82	5.99	0.00
Saunas	64	20.23	89.17	3.32	99.57	19.91	0.00
Panaderías	667	34.95	0.81	6.49	325.70	107.07	0.00
Botadero	54	226.28	11.41	84.86	958.02	490.42	0.00
Grifos	1	0.00	0.00	0.00	0.00	74.38	0.00
Total	1,411	1835.39	219.52	149.15	2711.20	765.59	0.00

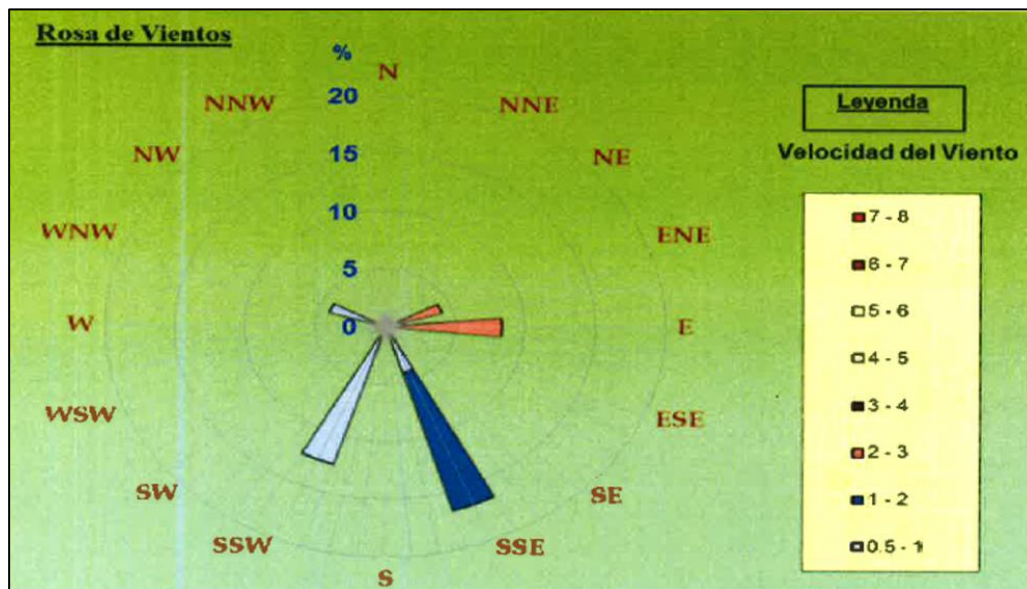
Fuente: Machicao, (2018).

La tabla 7 refleja a las ladrilleras artesanales como la mayor responsable de emisiones de partículas totales en suspensión PTS, seguido del SO₂ a comparación con las demás actividades.

La contaminación atmosférica no es ajena al distrito de Cayma, ya que, se presenta en su mayor parte por la pobreza que domina toda la parte norte del distrito, que, sumado a las características naturales del sitio y a la dirección predominante de los vientos al este durante el día, causan altos índices de contaminación. Al estar ubicado en zona desértica en la cabecera del desierto de Atacama, la predominancia de tierras eriazas con poca vegetación sumado a la intensidad de los vientos, contribuyen también a la contaminación atmosférica.

El registro de la dirección del viento mediante el tratamiento estadístico de los valores obtenidos por el anemómetro de la dirección de los vientos se plasma en la Figura 15.

Figura 15. Rosa de Vientos



Fuente: Invesca Perú, 2019

El análisis de los intervalos de velocidad del viento determinó la dirección predominante en la que sopla el viento y la frecuencia de los rumbos en la que el

viento sopla con intensidad, en la que predomina velocidades de 3-4 m/s hacia el sureste SSE, seguido de velocidades de 2-3 m/s en una dirección al noreste ENE. Es decir que estos vientos predominantes son los que favorecen la dispersión de los contaminantes hacia esa dirección.

Las fuentes de contaminación atmosférica son de dos tipos:

- De origen natural, la cual se produce por los polvos arrastrados por los vientos. Lo cual se produce más en la zona norte de Cayma debido a las características de los asentamientos humanos y pueblos jóvenes emplazados en terrenos eriazos o áridos de carácter arenosos y arcillosos y a su vez no cuentan con un asfaltado de vías predominando las trochas.
- De origen antrópico, debido principalmente a la contaminación producida por el parque automotor entre las que se encuentra la emisión de contaminantes del parque automotor. En el distrito de Cayma se encuentran alrededor de 22 rutas conformadas por 503 unidades de transporte público, y estas carecen de una organización adecuada. Por otro lado, a estas emisiones se les suma, las que proceden de actividades industriales y arrastre de polvos.

La producción del ladrillo en la planta evidencia un impacto a la calidad del aire especialmente debido al proceso de cocción el cual contribuye a la emisión de partículas y gases como el SO_2 , NO_2 , CO , H_2S , COV seguido a su vez por los procesos de molienda y movimiento de manejo de la materia prima donde se generan polvo y partículas suspendidas en el entorno cercano. Los resultados del Monitoreo de Aire de la Ciudad de Arequipa 2017, encontraron un promedio mensual de PM_{10} DE $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la zona de cono norte la cual contiene a la zona donde se encuentra la fábrica, siendo éste un valor que supera los ECA de aire de la norma ambiental D.S. Nro. 003-2017 MINAM que corresponde a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este tipo de contaminación mediante Material Particulado se da debido a las partículas en suspensión las cuales se obtienen ya sea emitidas directamente al aire producto de la combustión no controlada y como resultado de la ceniza, hollín, etc., del combustible R500 o también producto de las emisiones de las reacciones del

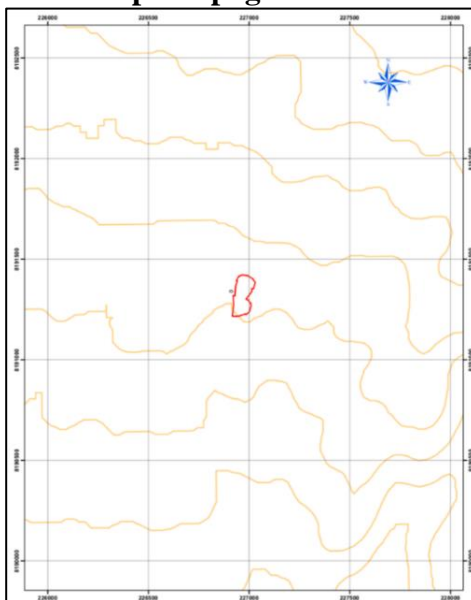
proceso de combustión de los CO_x, SO_x, NO_x. Tal es el caso de la presencia de dicho hollín y ceniza aparentemente visible, el cual se extiende hacia las zonas que colindan inmediatamente con la planta, material que ha sido expulsado a través de la chimenea.

Por otro lado, las partículas totales en suspensión PTS que, aunque no están contempladas en la regulación de nuestra normativa ambiental vigente, se toman en cuenta en cuanto a mencionar las partículas atmosféricas en suspensión desde 0,005 μm a 100 μm de diámetro que se dispersan en el aire como polvos que se originan cuando se dan las operaciones de molienda de la materia prima.

Suelo

El distrito de Cayma donde se encuentra la planta corresponde a una zona de características físicas y geográficas irregulares y accidentadas (Figura 17). El terreno es de carácter accidentado, por lo cual a su vez se identifican diferentes cauces de torrenteras formadas con el pasar de los años de hasta 20 m. de profundidad. Dichas torrenteras se distribuyen paralelamente al recorrido del Chili en diferentes secciones. En este caso, la fábrica limita por el oeste con una torrentera que inicia desde las zonas altas al norte del distrito.

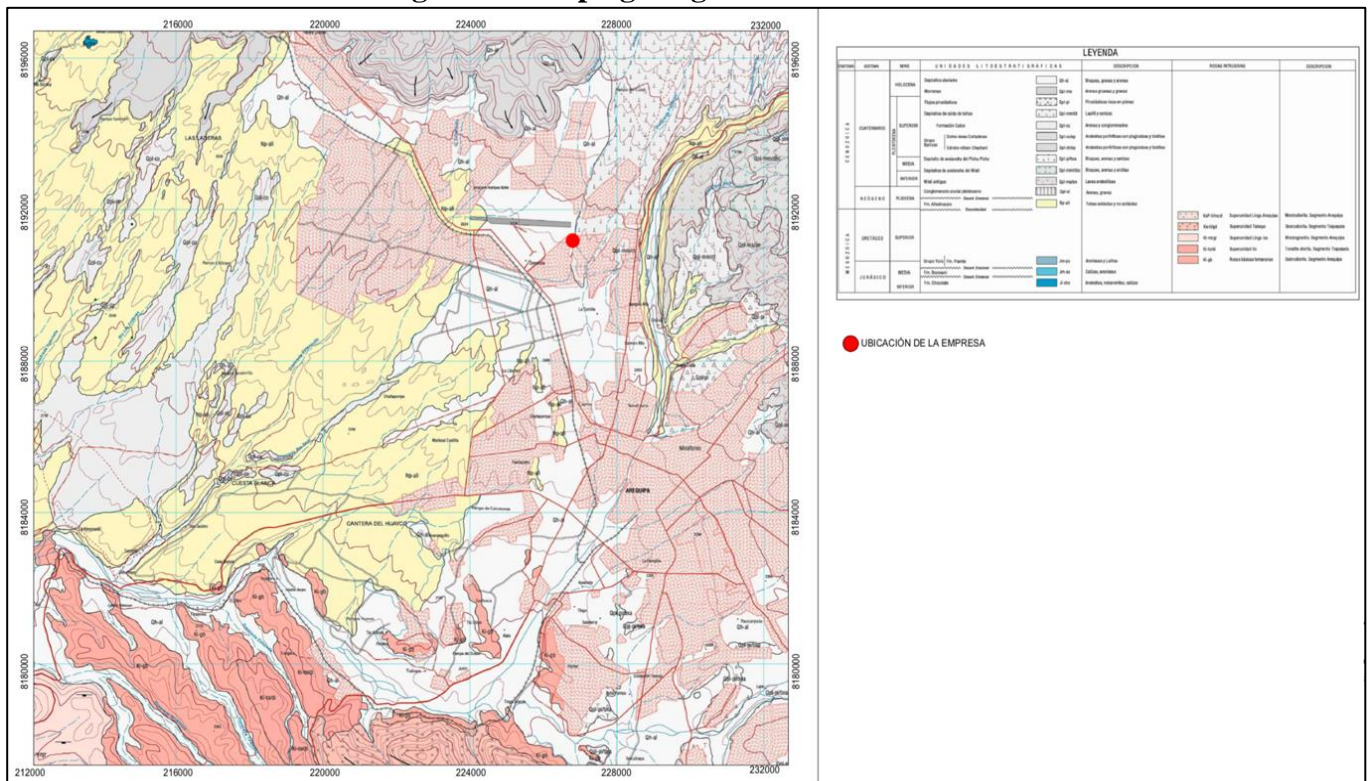
Figura 16. Mapa Topográfico de la ladrillera



Fuente: Elaboración propia

El suelo data del Cenozoico cuaternario superior de la serie pleistocena. Se encuentran depósitos piroclásticos ya que es zona volcánica y específicamente la zona de la planta contiene material lapilli y cenizas que corresponden a depósitos de caída de trefas. Son tobas volcánicas de color blanco amarillentas, deleznales, ásperas y de aspecto azucarado, muy livianas, carecen de vegetación y en su mayoría corresponden a terrenos eriazos. Lo cual, se puede ver en el siguiente Mapa geológico de la ladrillera (Figura18).

Figura 17. Mapa geológico de la ladrillera



Fuente: Elaboración propia

Los impactos que afectan los suelos como resultado de la actividad productiva no son significantes y su extensión es focalizada en las zonas específicas donde se dan los procesos productivos.

En cuanto a contaminación de suelo, se genera el impacto leve mediante a posibles fugas de aceite en los mantenimientos de las maquinarias y equipamientos. La planta de producción cuenta con una loza de cemento por lo que el suelo no está

expuesto directamente a alguna alteración por dicho aspecto. Por otro lado, los residuos sólidos generados en los procesos productivos corresponden a mermas o productos que no alcanzan los niveles de calidad de producto final, los cuales son almacenados sobre lozas, por lo tanto, no se considera una afectación significativa.

Otro aspecto para tomar en cuenta son las vibraciones que se dan en la operación de las maquinarias de la planta del proceso productivo hacia el suelo directamente, las cuales no son significantes.

Agua

En el proceso productivo del ladrillo no se generan efluentes hacia cuerpos de agua, pero si implica el uso del recurso para su desarrollo.

La cantidad de agua requerida para dicho proceso es mínima la cual sólo se utiliza en la mezcladora con la materia prima para lograr el producto deseado. Esta agua es de carácter industrial, ya que el agua potable sólo se utiliza para el área de oficinas.

Energía

El uso de energía tanto eléctrica como combustible, se toma como consumo del recurso como tal. La energía eléctrica empleada es suministrada a través de un medidor para operación industrial de carácter trifásico, la que abastece los procesos de molienda, extrusión y secado.

Por otro lado, el uso del combustible que es el aceite residual R500 es empleado principalmente por el proceso de cocción de los ladrillos mediante el horno, lo cual contribuiría al mayor impacto ambiental generado. Y de manera poco significativa el uso de gasolinas y petróleo para el transporte y carga de tanto los ladrillos como la materia prima dentro de la fábrica.

b) Medio Socioeconómico

El medio Socioeconómico corresponde a la demografía, vivienda, educación y economía como parte de la caracterización de la línea base para tener un alcance más amplio. Sin embargo, los factores relevantes a la actividad de producción de ladrillos como síntesis de los criterios mencionados están relacionados a la generación de empleo, activación de la economía local y el riesgo de accidentes.

Cayma presenta un área urbana aproximada de 10,68 Km², sólo el 6 % de su territorio sigue siendo terreno eriazo y parte de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca. La población total del distrito de Cayma, según el INEI para el año 2017 es de 91 935 habitantes de los cuales el 47.74% son varones y el 52.26% mujeres.

En el área de Villa Continental que es la zona de límite inmediato a la planta se encuentran las Urb. César Vallejo y Urb. Villa Corpac, las cuales son los poblados más cercanos y propensas a algún tipo de afectación por la actividad productiva. Como resultado del crecimiento económico y demográfico, estos asentamientos se han ido estableciendo a lo largo de los años ya que, en los inicios de la fábrica, no se encontraba ninguna localidad vecinal a su alrededor.

El aspecto económico es relevante mediante la generación de empleo y activación de la economía local. De acuerdo con el INEI del censo nacional del 2017, la categoría ocupacional del distrito de Cayma es como sigue: Obreros (23.5%), Empleado (29.1%), Familiar no Remunerado (6.7%), Trabajador del Hogar (4.9%), Independiente (32.5%), Empleador/Patrono (3.1%). Es decir que, una de las mayores ocupaciones de la población en este sector se dedica a la actividad obrera la cual es la que se requiere como trabajadores en la planta.

Los procesos productivos son tecnológicamente aptos para un mejor rendimiento y sistematización, sin embargo, requieren de fuerza laboral para su funcionamiento ya sea como operadores de maquinaria como es en el caso del proceso de extrusión, molienda y secado o en su mayoría para carga y descarga de los hornos de cocción.

Otro factor para considerar es la salud ocupacional para prevenir riesgos de accidentes. Todo proceso productivo demanda medidas de prevención y del uso de EPP's. El proceso productivo más propenso a propiciar riesgos de accidentes es el horno, ya que se tiene contacto directo con dicho proceso. Los trabajadores ingresan dentro del horno para la carga y descarga del ladrillo, sobre todo en la descarga incrementa el riesgo ya que están expuestos a temperaturas altas.

El diagnóstico preliminar realizado, determinó como impacto significativo a la afectación de la calidad de aire debido a las altas emisiones obtenidas de la combustión de la energía en el proceso de cocción de los ladrillos. Asimismo, la definición del AID reflejó que dichas emisiones, partículas y cenizas afectan principalmente a los trabajadores en el mismo lugar de producción y la población de las urbanizaciones aledañas. Como lo afirmó así también Febres (2017) en su investigación “Alternativa de solución a la problemática ambiental producida por las ladrilleras artesanales en Arequipa”, que la actividad ladrillera en Arequipa tiene como factor principal de contaminación a las emisiones de humos de los hornos en la etapa de cocción causando la precipitación de partículas hacia las poblaciones aledañas y alteran la salud por el deterioro de la calidad de aire. Siendo esta actividad en Arequipa, la segunda fuente de emisión de contaminantes afectando la calidad del aire, luego del tráfico vehicular con el uso de combustibles inadecuados.

4.1.4 Identificación de Impactos Ambientales

Para poder identificar los Impactos Ambientales fue necesario el análisis de la interacción que se da entre los Aspectos Ambientales causantes de los impactos y los Factores ambientales, los cuales son los receptores. La identificación de los Aspectos Ambientales se dio a partir de la determinación de las actividades del proyecto que van a repercutir como impactos sobre los componentes ambientales.

a) Identificación de las actividades productivas y Aspectos Ambientales

La determinación de la actividad productiva se realizó mediante la descripción de cada uno de los procesos que intervienen en la fabricación de los ladrillos y

realización de un diagrama de flujo. Su importancia radica en la base para la determinación de Aspectos e Impactos ambientales, ya que éstos se obtuvieron de acuerdo con cada proceso productivo y por lo tanto poder observar el proceso con mayor impacto al ambiente el cual requerirá de una medida de control. De esta forma se plasmaron en tablas propuestas en la metodología mencionada, los diferentes aspectos ambientales con su respectivo impacto ambiental de acuerdo con la actividad y proceso productivo que los genera y por consiguiente habiendo observado dicha descripción previamente se pueden determinar los Aspectos Ambientales Significativos. Los procesos productivos se describen a continuación.

- **Recepción de la materia prima e insumos**

La principal materia prima para la elaboración del ladrillo es la arcilla, la cual es transportada mediante camiones desde canteras para ser recibida en un almacén previamente habiendo realizado su preparación preliminar para poder ser utilizada, la que consiste en la mezcla de insumos y pudridero.

- **Carguío de materia prima a la tolva del molino.**

La materia prima desde su almacén es transportada mediante un cargador frontal hacia la tolva del molino para su posterior molienda.

- **Molienda**

A través de ella se realiza la trituración de la materia prima en un molino de martillos y pasar por la zaranda para obtener un material con la granulometría y textura deseada. Posteriormente mediante una faja transportadora es llevada al mezclador. Mediante esta operación unitaria, se combinan y dosifican las diferentes materias primas, de acuerdo con el tipo de ladrillo a producir, son humedecidas con agua para luego ser transportadas hacia el cajón alimentador.

- **Extrusión**

La materia prima es formada en el ladrillo deseado mediante este proceso que cuenta con 4 etapas; mezclado, laminado, extrusado, cortado. Esta es llevada

del cajón alimentador mediante una faja al mixturador adicionándole agua para su humidificación previo al laminador, es aquí donde las materias primas se homogenizan y humectan realizándose su mezcla en el depósito horizontal mediante los ejes horizontales giratorios de hélices que la impulsan hacia el final del mezclador y los terrones de la mezcla se rompen o trituran para poder ser llevadas hacia la laminadora mediante una faja transportadora. En el proceso de laminado, la materia prima es comprimida en forma de planchas o láminas mediante rodillos. Estas láminas pasan luego hacia la extrusora, donde la mezcla ingresa por la línea de producción que contiene un molde que ingresa a través de una bomba de vacío y permite que al ladrillo se le quite todo el aire y en parte se elimina el vapor de agua, dándole mayor compactación y deshidratación. La materia prima es luego empujada mediante hélices que giran en el interior de la prensa de extrusión siguiendo un movimiento de rotación tendiendo hacia un desplazamiento de curva sobre sí misma, por lo que la masa posteriormente penetra la boquilla, la cual es el molde que determina sus características del tipo de ladrillo en cuanto a dimensión, porcentaje de perforación, etc. Luego de haber sido moldeados los ladrillos en la extrusora, son cortados con alambres de acuerdo con las dimensiones ideales y las especificaciones técnicas requeridas según el tipo de ladrillo. Al finalizar este proceso se realiza una inspección visual por parte del operario para el control de calidad y separar las piezas rechazadas para su reprocesamiento posterior. El producto resultante es colocado en las estanterías de los vagones de transporte antes de ser llevados al secadero.

- **Secado**

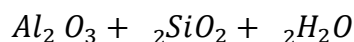
Habiendo previamente dejado el ladrillo moldeado en los vagones en reposo por 12 horas para la pérdida de humedad y mejora de la manipulación, son ingresados a los secadores durante otras 12 horas. El secadero se compone de una cámara continua como un túnel de 75m de largo por 5 m de ancho donde se logra el control de los criterios que permiten un buen rendimiento y calidad del producto. Estos son la circulación de aire uniforme, control de la humedad

relativa y temperatura del aire. Por lo que, el manejo del secado térmico se da mediante la inyección de un volumen de aire tomado del exterior combinado con el calor residual del horno. Esta combinación es jalada mediante un exhaustor desde la zona final del secadero hacia la chimenea ubicada en el ingreso de éste en una dirección contracorriente, por lo que en la salida del secadero se dan temperaturas que oscilan entre 90°C - 120°C y en el ingreso se dan temperaturas a partir de 10°C . El flujo del desplazamiento a contracorriente del aire logra que se dé un secado térmico gradual de los ladrillos evitando un shock de calor intempestivo que provoque el agrietamiento de los ladrillos. Por lo cual, este aire caliente mediante 7 cortinas en los extremos laterales del secadero se encarga de aportar aire a los ladrillos para su secado, el cual transporta la humedad sobre la superficie de los ladrillos. Este aire posee una presión controlada para su circulación. Este calor que se suministra debe cumplir elevar la temperatura para romper los enlaces químicos entre moléculas de agua y ladrillos secos para posteriormente evaporarse. Es decir que tanto el aire que contiene la humedad y la temperatura alcanzada se adecuan para lograr que la evaporación del agua en la superficie del ladrillo no sea mayor que la difusión del agua desde su interior hacia la superficie. El contenido de agua que se encuentra en los ladrillos es tanto de agua de contracción que se encuentra entre las partículas y de agua en los poros. Al eliminar dicha agua de contracción, el volumen del cuerpo de la masa del ladrillo disminuye aumentando las fuerzas de atracción de las partículas, lo cual, se traduce en la mayor resistencia del ladrillo seco que cuando está húmedo. Es necesario un buen control del secado, ya que caso contrario, el exceso de compactación que se genera contribuye a la pérdida de calidad física del ladrillo generando alabeo y agrietamiento. Es por eso por lo que, su importancia radica en un correcto secado controlado ya que se da un incremento de la resistencia mecánica, haciendo que este soporte mayor cantidad de cargas de esfuerzos.

- **Cocción**

Se disponen de 4 hornos tipo colmena de tiro invertido donde su funcionamiento radica en la succión de arriba abajo de la energía térmica generada la cual tiende a subir hacia la cúpula. Haciendo bajar el calor para la cocción del ladrillo de manera uniforme hacia la chimenea. El calor generado es producto de la combustión del aceite residual R500 suministrado mediante 2 tanques de almacenamiento llevado por ductos hacia los 6 quemadores alrededor del horno. Los ladrillos son sometidos a cocción de altas temperaturas que oscilan desde los 800° C a 1200° C previamente secados. Los hornos son cargados con el ladrillo de manera manual. En este proceso se dan tres etapas, la de precalentamiento, quema y enfriamiento hasta su salida. El ladrillo al ser sometido al proceso de cocción sufre las siguientes fases dentro del horno de acuerdo con la etapa de cocción en la que se encuentre. En la etapa de precalentamiento el gradiente de temperatura oscila desde 0 hasta alcanzar 800°C y toma alrededor de 8 horas. En este transcurso, hasta los 200°C se da la eliminación del agua y humedad higroscópica que no ha sido totalmente eliminado en el proceso de secado. Y en un rango entre los 200°C y 400°C el material orgánico propio de la arcilla es descompuesta y oxidada. Y al alcanzar los 450°C y 650°C el ladrillo cambia sus propiedades físicas mediante la contracción y se endurece, a su vez se da una transformación alotrópica de la sílice de la estructura cristalina. Los minerales de la arcilla son descompuestos en sílice y alúmina liberándose el agua, donde se obtiene la siguiente reacción.

Ecuación 6: Transformación alotrópica de la sílice de la estructura cristalina del ladrillo cocido



Posteriormente, a 680°C y 800°C tiene lugar la descarbonatación de las arcillas calcáreas. Y finalmente en la etapa de quema como el calor tiende a subir, se reúne en la parte superior de la cúpula lo cual dura 4 horas alcanzados los 800°C para cocer el lote superior más cercano a esta cúpula, y se toman otras 4 horas

para que ese calor descienda mediante el jale de la chimenea para cocer el lote que se encuentra en la parte inferior del horno y es aquí donde se comienzan a dar los procesos de fusión y vitrificación al reducirse las dimensiones de los poros y obteniéndose las características de aglomerado y resistencia requerida. La vitrificación quiere decir que el líquido gradual que se ha formado llena los espacios porosos y al enfriarse se solidifica en una estructura vítrea al aglutinarse las partículas inertes.

Finalmente, en la etapa de enfriamiento, el gradiente de temperatura baja hasta alcanzar los 40 °C en la cual ya se puede manipular el ladrillo cocido para la descarga del horno. Esta etapa toma hasta 18 horas para poder enfriarse, apoyado de la remoción de aire por parte de un ventilador externo.

- **Almacenaje**

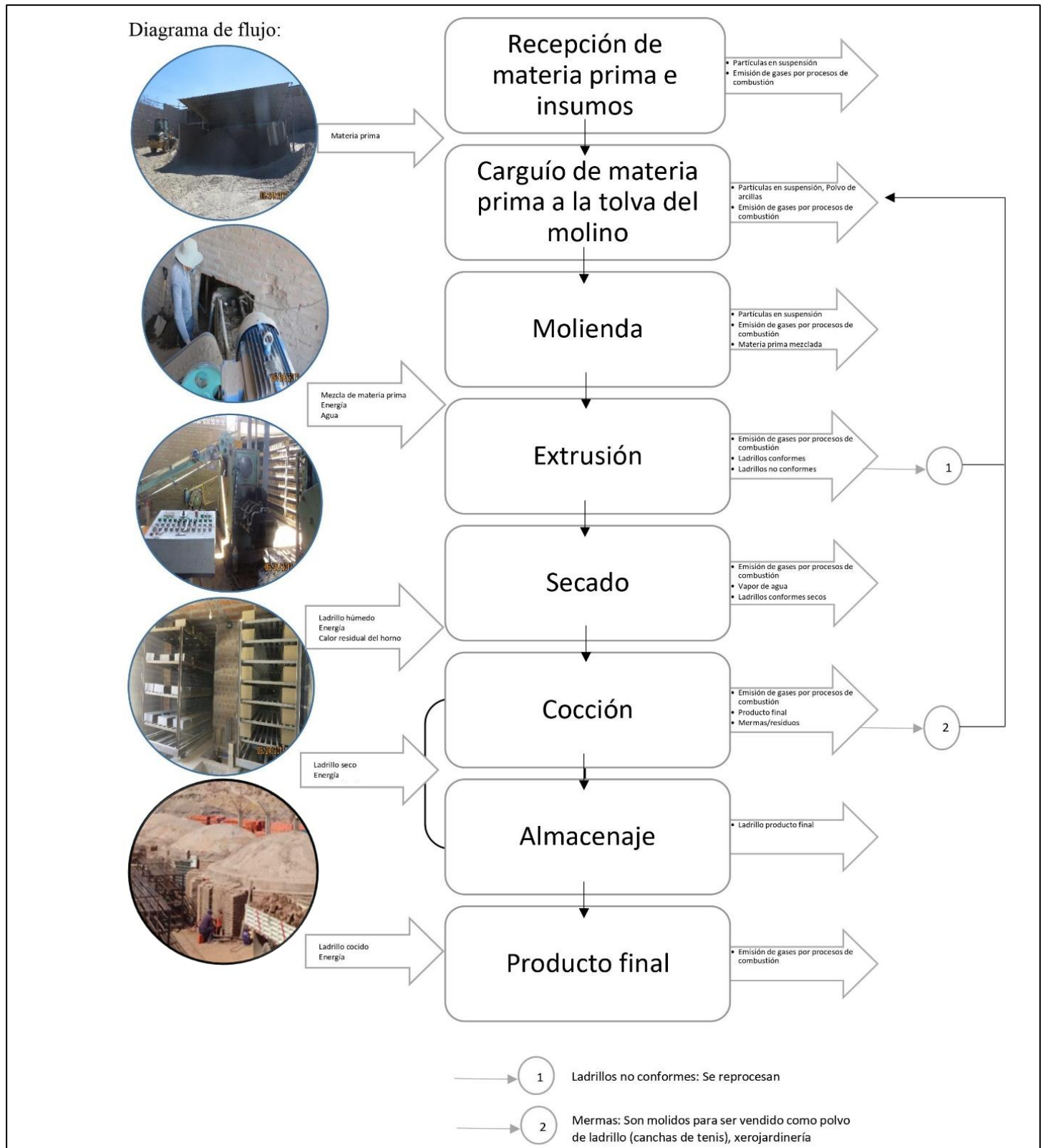
Los vagones de ladrillos con el producto final que salen del horno son descargados a parihuelas, camiones o apilados y almacenados convenientemente; habiendo pasado previamente por control de calidad. Los ladrillos rechazados son separados para su reprocesamiento posterior.

- **Producto final**

Los ladrillos aptos con las condiciones para ser comercializados son vendidos y despachados mediante camiones de distribución hasta el consumidor final.

Dichas actividades productivas, se representan gráficamente en el siguiente Diagrama de flujo del proceso productivo (Figura 18).

Figura 18. Diagrama de flujo del proceso productivo



Fuente: Elaboración propia

Los diferentes aspectos e impactos ambientales generados por cada actividad y proceso productivo se describen a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8. Aspectos e Impactos ambientales por actividad de cada proceso

ASPECTOS – IMPACTOS AMBIENTALES			
Proceso	Actividad	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental
Recepción de materia prima e insumos	Almacenamiento	Producción excesiva de polvo	-Contaminación atmosférica por material particulado y gases por procesos de combustión. -Alteraciones sociales y estructuras físicas. -Escasez del recurso hídrico.
		Quema de combustibles fósiles por vehículos de transporte	
		Generación de vibraciones	
	Mezclado	Producción excesiva de polvo	
		Consumo de agua	
Carguío de materia prima a tolva molino	Transporte de almacén al molino	Quema de combustibles fósiles por vehículos de transporte	-Contaminación atmosférica por gases por procesos de combustión. -Alteraciones sociales y estructuras físicas.
		Generación de vibraciones	
Molienda	Molienda	Producción excesiva de polvo	-Contaminación atmosférica por material particulado y gases por procesos de combustión. -Contaminación sonora.
		Ruido excesivo del molino	
		Consumo de energía eléctrica	

		Generación de vibraciones	-Alteraciones sociales y estructuras físicas. -Escasez del recurso hídrico.
Extrusión	Mezclado	Consumo de energía eléctrica	-Contaminación atmosférica.
		Consumo de agua	-Escasez del recurso hídrico.
	Laminado	Consumo de energía eléctrica	-Contaminación de suelo.
	Extrusado	Consumo de energía eléctrica	
	Cortado	Consumo de energía eléctrica	
		Fugas de aceite	
Secado	Secado	Emisión de vapor de agua	Deterioro de la calidad atmosférica.
Cocción	Cocción	Emisión de vapor de agua	-Deterioro de la calidad atmosférica.
		Quema de combustible	-Contaminación atmosférica por procesos de combustión del recurso energético.
Almacenaje	Descarga de horno a medio de transporte	Quema de combustibles fósiles por vehículos de transporte	Contaminación atmosférica por gases por procesos de combustión.
	Almacenamiento		
Producto final	Distribución del ladrillo	Quema de combustibles fósiles por vehículos de transporte	Contaminación atmosférica por gases por procesos de combustión.

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta un análisis de los aspectos e impactos con mayor incidencia o repetición en diferentes aspectos, se puede determinar que los Aspectos e Impactos Significativos afectan la calidad del aire. Y se describen a continuación en la Tabla 9.

Tabla 9. Índice de Aspectos Ambientales Significativos

ASPECTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS (AAS)			
Nº	Aspecto ambiental significativo	Impacto Ambiental	Proceso
1	Ruido excesivo	Contaminación sonora	Molienda
2	Producción excesiva de polvo	Contaminación atmosférica por material particulado	Recepción de materia prima e insumos/ Molienda
3	Consumo de energía eléctrica	Contaminación atmosférica y disminución del recurso.	Molienda/ Extrusado
4	Quema de combustible	Contaminación atmosférica por procesos de combustión y disminución del recurso.	Cocción

Fuente: Elaboración propia

b) Identificación de Impactos Ambientales

Se logró la identificación de los Impactos Ambientales mediante dos metodologías propuestas en la Guía para Identificación de Impactos Ambientales SEIA; La Lista de Chequeo y la Matriz de Identificación de Impactos Ambientales.

- i.** La Lista de Chequeo correspondió a una metodología que integra los factores a ser afectados por las actividades del proyecto y permitió que se identifiquen los Impactos Ambientales producidos.
- ii.** La Matriz de Identificación de Impactos Ambientales consistió en la representación de tablas la integración de las actividades y componentes ambientales que producen un Impacto Ambiental, al cual se le clasificó un tipo de alteración ya sea al aire, suelo y fauna.

i. Lista de Chequeo

La significancia de los aspectos ambientales en cada proceso reside en la disminución del impacto ambiental, por lo que, los factores ambientales que pueden ser afectados por las actividades del proceso productivo se representan mediante consumos de tanto agua, energía eléctrica y combustible como también los contaminantes que abarca efluentes y generación de mermas. De esta manera, se permite identificar rápidamente los impactos para estructurar la etapa inicial de la evaluación. Lo cual, se puede ver a continuación en la Tabla 10.

Tabla 10. Lista de Chequeo

LISTA DE CHEQUEO					
Proceso	Consumos		Contaminantes		
	Agua	Energía eléctrica y Combustible	Emisiones atmosféricas	Efluentes	Generación de mermas
Recepción de materia prima e insumos	X	X	X		
Carguío de materia prima a tolva molino		X	X		
Molienda	X	X	X		
Extrusión		X	X		X
Secado			X		X
Cocción		X	X		X
Almacenaje		X	X		
Producto final		X	X		

Fuente: Elaboración propia

- Recepción de materia prima e insumos
Impacto en la disminución del recurso hídrico.
Impacto en la calidad de aire por la quema de combustibles fósiles.
- Carguío de materia prima a tolva de molino
Impacto en la calidad de aire por la quema de combustibles fósiles.

- Molienda
Impacto en la disminución del recurso hídrico.
Impacto en la calidad de aire por la quema de combustibles fósiles y PM₁₀, PM_{2.5}.
Impacto en la disminución del recurso energético.
- Extrusión
Impacto en la disminución del recurso energético.
Impacto en el suelo por generación de mermas.
- Secado
Impacto en la calidad del aire por emisiones de vapor de agua.
Impacto en la disminución del recurso energético.
Impacto en el suelo por generación de mermas.
- Cocción
Impacto en la disminución del recurso energético.
Impacto en la calidad de aire por la quema de combustibles fósiles y PM₁₀, PM_{2.5}.
- Almacenaje
Impacto en la calidad de aire por la quema de combustibles fósiles.
- Producto Final
Impacto en la calidad de aire por la quema de combustibles fósiles.

ii. Matriz de Identificación de Impactos Ambientales

En esta matriz se obtuvieron los impactos ambientales para la etapa de operación considerando los aspectos ambientales. Los impactos ambientales se identificaron en la intersección entre las actividades del proyecto y los componentes ambientales que son afectados por dichas actividades; los cuales están representados a continuación en la Tabla 11.

Tabla 11. Matriz de Identificación de Impactos Ambientales

MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES																	
Etapa	Proceso	Actividad	Aspecto Ambiental	Componentes Ambientales													
				Suelo				Atmósfera				Agua				Energía	
				Topografía	Contaminación	RRSS	Vibraciones	Emisiones gaseosas	PM10, 2.5	Ruido	Olores	Uso A. sup.	Contaminación A sup.	Uso A. sub.	Contaminación A sub.	E. eléctrica	Combustible
OPERACIÓN	Recepción de materia prima e insumos	Almacenamiento	Producción excesiva de polvo						CA - 01								
			Quema de combustibles fósiles por vehículos de transporte					CA - 02	CA - 01						CA - 02		
			Generación de vibraciones				VI - 01			RU - 01						CA - 01	
		Mezclado	Producción excesiva de polvo							CA - 01							
			Consumo de agua									X					
	Carguío de materia prima a tolva molino	Transporte de almacén al molino	Quema de combustibles fósiles por vehículos de transporte						CA - 02								
			Generación de vibraciones				VI - 01			RU - 01							
	Molienda	Molienda	Producción excesiva de polvo							CA - 01							
			Ruido excesivo del molino													RU - 01	
				Generación de vibraciones				VI - 01									
Consumo de energía eléctrica									CA - 02	CA - 01						CA - 02	
Mezclado			Consumo de energía eléctrica							CA - 02	CA - 01					CA - 02	
			Consumo de agua									X					
Extrusión		Laminado	Consumo de energía eléctrica						CA - 02	CA - 01						CA - 02	
			Extrusado	Consumo de energía eléctrica						CA - 02	CA - 01					CA - 02	
		Cortado	Consumo de energía eléctrica							CA - 02	CA - 01					CA - 02	
			Fugas de aceite													RU - 01	
Secado		Secado	Emisión de vapor de agua						CA - 02								
Cocción		Cocción	Emisión de vapor de agua						CA - 02								
			Quema de combustible GLP						CA - 02	CA - 01						CA - 02	
Almacenaje		Descarga de horno a medio de transporte	Quema de combustibles fósiles por vehículos de transporte						CA - 02	CA - 01						CA - 02	
		Almacenamiento	Quema de combustibles fósiles por vehículos de transporte						CA - 02	CA - 01						CA - 02	
Producto final		Distribución del ladrillo	Quema de combustibles fósiles por vehículos de transporte						CA - 02	CA - 01						CA - 02	

Fuente: Elaboración propia en base a la Guía para la Identificación y caracterización de impactos ambientales – SEIA

Leyenda de la Matriz Identificación de Impactos

CA-01: Alteración de la calidad del aire por generación de material particulado
CA-02: Alteración de la calidad del aire por generación de emisiones gaseosas
FIS-01: Alteración del relieve local
RU-01: Incremento de los niveles de ruido
VI-01: Incremento de los niveles de vibraciones
AS-01: Alteración de la calidad del agua por incremento de sedimentos
SU-01: Erosión del suelo
SU-02: Cambio de uso del suelo
FLO-01: Pérdida de cobertura vegetal
FLO-02: Afectación de la flora por material particulado

FA-02: Pérdida del hábitat para la fauna
HI-01: Alteración de las comunidades de flora y fauna Acuática

Fuente: Guía para la Identificación y caracterización de impactos ambientales - SEIA

c) Identificación de los factores ambientales

La determinación de los factores ambientales físicos, biológicos y sociales relevantes a la actividad de este sector productivo, abarcó la síntesis del área de influencia para cada elemento afectado del medio ambiente obtenido previamente en el estudio del área de influencia para así poder tomar en consideración los impactos ambientales potenciales relevantes sobre ellos.

Las acciones que representan impactos ambientales en los procesos productivos se caracterizan en relación con las características propias de las áreas involucradas y variables que pueden ser alterados de forma más o menos notable por ellas. Éstas se representan en la Tabla 12, considerando factores ambientales:

- Medio físico: suelo, atmósfera, agua, energía
- Medio socioeconómico: economía, salud y seguridad

Tabla 12. Componentes ambientales

COMPONENTES AMBIENTALES		
MEDIO	COMPONENTE AMBIENTAL	FACTOR AMBIENTAL
FÍSICO	SUELOS	Topografía y Relieve
		Contaminación de Suelos
		Residuos Sólidos
		Vibraciones
	ATMÓSFERA	Emisiones Gaseosas
		PM ₁₀ Y PM _{2,5}
		Malos olores
		Ruido
	AGUA	Uso de Agua Superficial
		Contaminación de Agua Superficial
		Uso de Agua Subterránea
		Contaminación de Agua Subterránea
	ENERGÍA	Energía Eléctrica
Combustible		
SOCIOECONÓMICO	ECONOMÍA	Generación de empleo
		Activación Econ. Local
	SALUD Y SEGURIDAD	Riesgos de accidentes

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Caracterización del Impacto Ambiental de la tecnología convencional

Luego de la identificación de Impactos Ambientales, se realizó la valoración de impactos ambientales de la tecnología inicial, cuando el proceso productivo comprendía la tecnología convencional Horno de Tiro Invertido con un suministro energético de Aceite Residual 500, mediante la Matriz de Importancia de Vicente Conesa (2010) (Ver anexo I). Para corroborar en qué etapa y actividad del proceso se produjo la mayor contaminación y por lo tanto en cuál se tendría que tomar alguna medida de mitigación y tener una línea base para poder hacer la posterior comparación. Siendo este método de carácter cualitativo, se midió la importancia del impacto ambiental de acuerdo con la naturaleza del impacto ya sea positivo o negativo, el grado de incidencia y su caracterización que refiere atributos como la extensión, momento, persistencia, reversibilidad, sinergia, acumulación, efecto, periodicidad y recuperabilidad.

Se relacionaron las actividades de los procesos productivos con los componentes y factores ambientales siguiendo la metodología de la matriz Conesa y mediante la fórmula propuesta para valorar el grado de importancia. Para lo cual primero, como síntesis del anexo I que es la Matriz de Importancia Conesa, se realizó una Lista de Chequeo donde se distinguen los impactos positivos, los cuales se encuentran en azul y los impactos negativos en rojo, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 13. Y segundo, se realizó la valoración de los impactos que se muestran en la Matriz resumen de Importancia de Conesa, la cual se aprecia en la Tabla 14.

Tabla 13. Lista de Chequeo en la etapa de operación con el funcionamiento del Horno de tiro invertido

COMPONENTES Y FACTORES AMBIENTALES			ACTIVIDADES								
			Recepción de materia prima	Carguo de materia prima a la tolva	Molienda	Extrusión	Secado	Cocción	Almacenamiento	Producto final	
Físico	Suelos	Contaminación de suelos									
		Residuos sólidos									
		Vibraciones									
	Atmósfera	Emisiones gaseosas									
		PM ₁₀ y PM _{2.5}									
		Ruido									
	Agua	Uso de agua superficial									
	Energía	Energía eléctrica									
Combustible											
Socio - económico	Economía	Generación de empleo									
		Activación econ. local									
	Salud y Seguridad	Riesgos de accidentes									

Fuente: Elaboración propia

La tabla 13 muestra que los impactos en la etapa de operación en la fabricación de ladrillos son en su mayoría negativos y afectan sólo a los componentes físicos y socioeconómicos mas no a los biológicos dado a las características del emplazamiento de la fábrica carentes de flora y fauna.

Se aprecia que el factor ambiental más afectado por la mayoría de las actividades productivas es la atmósfera debido a los procesos de combustión del recurso energético que generan emisiones gaseosas, material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} y ruido. Asimismo, los impactos positivos que se presentan son en la economía que involucran

la generación de empleo dentro de la organización en cada una de las actividades del proceso productivo y por otro lado la activación de la economía local tanto en las actividades de recepción de materia prima como en producto final ya que se consideró que contribuyen a dicho factor porque ambos son servicios tercerizados, generando empleo a proveedores de transporte y materia prima.

Tabla 14. Matriz resumen de Importancia Conesa con el Horno de tiro invertido

COMPONENTES Y FACTORES AMBIENTALES		ACTIVIDADES	Recepción de materia	Carguío de materia prima a la tolva	Molienda	Extrusión	Secado	Cocción	Almacenamiento	Producto final	IMPORTAN CIA DEL IMPACTO		CALIFICA CIÓN
											POSITIVO	NEGATIVO	
											Físico	Suelos	
Residuos sólidos	-23	0	0	-20	-20	-29	-18	-17		-21			Leve
Vibraciones	-23	-26	-26	0	0	0	0	0	0				-25
Atmósfera	Emisiones gaseosas	-27	-24	0	0	-27	-60	-24	-23			-34	Moderado
	PM ₁₀ y PM _{2.5}	-27	-24	-27	0	0	-60	-24	-23			-32	Moderado
	Ruido	-21	-21	-26	-23	-24	-33	-21	-20			-24	Leve
Agua	Uso de agua superficial	0	0	-24	-24	0	0	0	0			-24	Leve
Energía	Energía eléctrica	0	0	-27	-33	-27	-27	0	0			-29	Moderado
	Combustible	-24	-24	0	0	0	-33	-24	-23			-26	Moderado
Socio- económicos	Economía	Generación de empleo	41	41	41	41	41	44	44	41	42		Moderado
		Activación de economía local	40	0	0	0	0	0	0	0	40	40	
	Salud y Seguridad	Riesgos de accidentes	-26	-26	-28	-26	-26	-27	-22	-22		-25	Moderado

Fuente: Elaboración propia

Legenda:

Impacto negativo				
Calificación	Leve	Moderado	Severo	Crítico
Rango	<25	25 ≥ <50	50 ≥ <75	≥ 75
Código de colores				

Impacto positivo				
Calificación	Ligero	Moderado	Bueno	Muy bueno
Rango	<25	25 ≥ <50	50 ≥ <75	≥ 75
Código de colores				

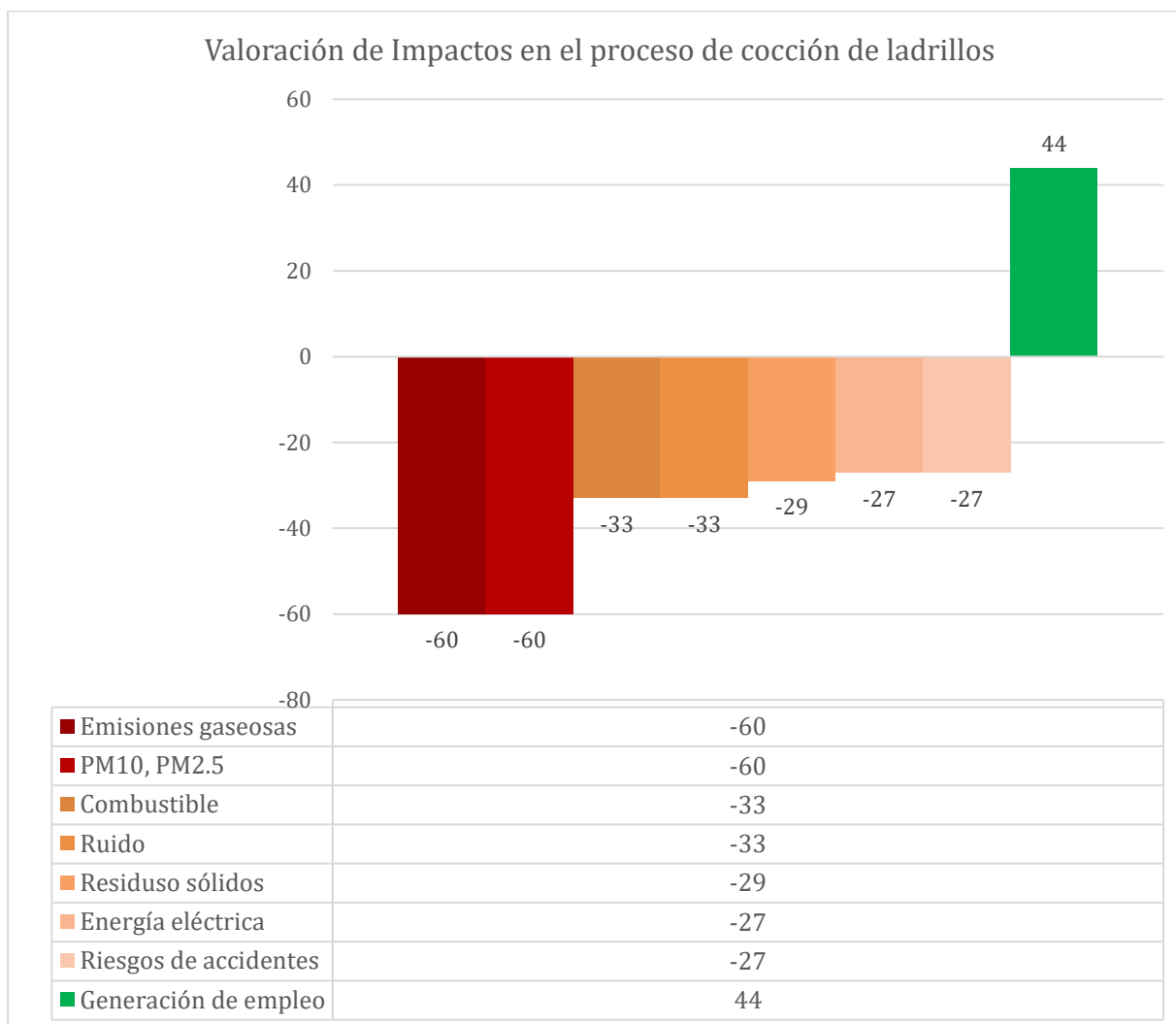
Fuente: Conesa, et al., (2010)

Se determinó que la atmósfera es el componente ambiental con mayor impacto respecto a los demás con una valoración de -34 y -32, debido sobre todo a la generación de emisiones gaseosas y material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, que lo califica como Impacto Negativo Moderado siguiendo los criterios de clasificación del impacto ambiental con un valor que se encuentra dentro del rango de 25 ≥ <50).

Seguido de la energía como el segundo componente ambiental afectado por el consumo de energía eléctrica y combustibles, con una ponderación de -29 y -26 respectivamente que también se califica como Impacto Negativo Moderado. Sin embargo, esta valoración considera todas las actividades del proceso productivo, en las cuales el impacto varía por actividad habiendo algunas donde puede ser leve, moderado o alto, por lo que el promedio de la valoración va a reflejar una clasificación dispersa. Por lo tanto, a manera de tener un panorama más específico y claro, es necesario el análisis y la interpretación de la importancia del Impacto de acuerdo con cada actividad específicamente.

Es así que, en vista de que la atmósfera y energía son los componentes más afectados por las actividades de cocción del ladrillo, con una valoración de -60 en cuanto a emisiones gaseosas y material particulado que lo califica como Impacto Negativo Severo y seguidamente también en cuanto al combustible con una valoración de -33 calificado como Impacto Negativo Moderado; se determinó al proceso productivo de Cocción como punto de evaluación para la toma de medidas correctoras para la recuperación del medio afectado.

Gráfica 5. Valoración de Impactos por el Horno de Tiro Invertido



Fuente: Elaboración propia

La Gráfica 5 muestra una tendencia no uniforme, la cual se ve reflejada en la diferencia de mayor impacto negativo generado por las emisiones gaseosas y material particulado con respecto a los demás factores ambientales.

La Tabla 15 a continuación, muestra la descripción de los Impactos Negativos generados en la cocción de ladrillos con el horno convencional de tiro invertido empleando el aceite residual R500 como fuente energética.

Tabla 15. Descripción de Impactos Ambientales en el proceso de cocción de ladrillos con el Horno de tiro invertido

Componente	Factor ambiental	Descripción del Impacto Ambiental	Importancia del Impacto
Suelo	Residuos sólidos	Contaminación y deterioro del suelo por la presencia y disposición de mermas de ladrillo cocido a zonas precarias de almacenamiento, debido a la quema ineficiente y descarga manual del horno que genera su mala calidad en cuanto a la no uniformidad de quemado, disminución de sus propiedades mecánicas, quiebres o roturas.	-29
Atmósfera	Emisiones gaseosas	Contaminación por GEI y degradación de la calidad del aire debido a las emisiones tóxicas generadas por los procesos de combustión del aceite residual R500. La combinación del consumo de este combustible de alto grado de nocividad tóxica y la ineficiencia en el proceso de cocción mediante este horno que involucra la combustión incompleta del combustible, el desperdicio del calor en su etapa de calentamiento, mayor tiempo de horas empleadas para la quema, incrementa la generación de las emisiones como SO ₂ , CO, NO ₂ , etc. Si bien se reaprovecha el calor para el funcionamiento del secadero, existe una recuperación limitada de éste por la poca cantidad que sólo se puede aprovechar en la etapa de enfriamiento del horno.	-60
	PM ₁₀ y PM _{2.5}	Contaminación del aire debido las partículas en suspensión las cuales se obtienen ya sea emitidas directamente al aire como resultado del hollín del combustible R500 o también producto de las emisiones de las reacciones del proceso de combustión de los CO _x , SO _x , NO _x .	-60
	Ruido	Alteración y contaminación sonora producto del ruido emitido por el ventilador externo al horno empleado para contribuir al enfriamiento del horno luego de la	-33

		cocción. Esta actividad es ineficiente ya que no cumple su función de manera que el tiempo de enfriamiento sea reducido.	
Energía	Energía eléctrica	Contaminación atmosférica por el empleo de procesos de combustión al generar el recurso, y alteración de las zonas de emplazamiento y ecosistemas donde se sitúan las hidroeléctricas, que como es en el caso de Arequipa son fuente del suministro eléctrico. Su evaluación se basa en la energía como recurso por lo que en su valoración influye también su irrecuperabilidad al ser de carácter no renovable. Se hace uso innecesario de energía eléctrica al emplear un ventilador externo al horno para poder enfriar los ladrillos cocidos, ya que no solo es ineficiente, sino que también debería ser un proceso propio de la tecnología del horno.	-27
	Combustible	Disminución del recurso no renovable que es este derivado del petróleo y alto grado de toxicidad por la mezcla de combustibles residuales de petróleo. Además, su manipuleo, transporte y disposición son realizados mediante gestores informales, lo que genera mayor impacto en cuanto a accidentes de derrames, pureza del combustible, etc.	-33
Economía	Generación de empleo	Incremento de mano de obra para la operación del horno, al ser de carácter convencional requiere de mayor tiempo y mano de obra para el carguío y descarga del horno que toma hasta un día de jornada laboral respectivamente y personal para el encendido manual de los quemadores.	44
Salud y Seguridad	Riesgos de accidentes	Los trabajadores están más propensos a riesgos de accidentes tanto en el carguío del horno ya que se trata de apilar manualmente lotes de ladrillos dentro de la bóveda del horno de hasta 3 metros de altura y a sus veces en su descarga se le añade el riesgo que implica	-27

		desapilar los ladrillos que se encuentran a temperaturas altas.	
--	--	---	--

Fuente: Elaboración propia

Las Tablas 14 y 15 determinan al proceso de cocción como la más contaminante que genera un impacto ambiental significativo a la atmósfera en cuanto a emisiones gaseosas y de PM₁₀ y PM_{2.5}. Como Mendoza (2017) en su estudio encontró también lo que se determinó en la evaluación de impacto ambiental, que en general la contaminación por parte de este tipo de hornos se da principalmente por la emisión de gases a la atmósfera provenientes del proceso de cocción del ladrillo dependiendo sustancialmente en el tipo de combustible empleado. Esto se confirma con el valor hallado en la matriz de evaluación de impacto, donde se le atribuye al proceso de cocción un impacto negativo severo con -60.

Los criterios para la evaluación del impacto se basaron en las emisiones contaminantes como CO, NO_x, SO₂ y por consiguiente en la magnitud de sus impactos teniendo en cuenta factores que contribuyan a eso, como el tipo de combustible, tipo de combustión, variables propias de la eficiencia del funcionamiento de los hornos, etc. De la misma forma lo encontró Páez (2020) en su investigación, indicando que los principales contaminantes atmosféricos en los hornos de ladrillos son el material particulado, CO, NO_x, SO₂, y atribuye dichas emisiones a los combustibles de alto impacto ambiental y el uso de tecnologías ineficientes.

Estos contaminantes se han comparado en la investigación de Cabrera (2019), donde contrasta los resultados obtenidos en las mediciones de 4 diferentes hornos de tiro invertido empleando leña como suministro de energía con la normativa en Cuenca Ecuador. De dichos resultados, se puede inferir que en cuanto a material particulado los valores generados de 50mg/m³ no son significativamente considerables, y se le atribuye al tipo de combustible ya que principalmente la biomasa suele generar mayor cantidad de partículas como cenizas, polvo, hollín, etc. Pero en el caso del R500, este también genera material particulado ya que no es de carácter limpio y además como

ayuda del encendido del horno con leña, se incrementa la presencia de cenizas, hollín, etc., que son expulsados fuera de la chimenea y en algunos casos este material es aparentemente visible al quedar suspendido en los alrededores de la planta.

En cuanto al SO_2 , los valores de las emisiones medidas en los 4 hornos eran significativamente bajas con un promedio de 11 mg/m^3 , y los resultados son variables de acuerdo con la composición del combustible. Es decir que la leña utilizada en esta zona no contenía grandes cantidades de azufre. En tal caso, Jiménez (2017) afirma que la formación del dióxido de azufre se da cuando el combustible contiene altos niveles de azufre como es en el caso del petróleo y diésel y a su vez contribuyen a la generación de sulfatos en forma de $\text{PM}_{2.5}$. Por lo tanto, se puede inferir que el horno de tiro invertido de nuestra evaluación sí genera mayores niveles de SO_2 en sus procesos de combustión.

Para los NO_x , los valores obtenidos que se obtuvieron de su investigación no superan los 70 mg/m^3 , sin embargo, en la combustión del R500 al manejar temperaturas altas dentro de los hornos, se genera mayor cantidad de NO_x , ya que, se da una reacción entre nitrógeno que se encuentra en el aire, en el combustible y en el oxígeno del aire.

El CO es la emisión con una afectación considerablemente significativa con respecto a los otros gases generados con una concentración máxima de 2944 mg/m^3 superando hasta 6 veces los límites establecidos en las normativas. Su generación procede de la combustión incompleta del combustible, lo cual se debe a que no se da una total oxidación de los componentes del combustible ya sea por exceso o defecto de aire. Estos hornos de Tiro Invertido son más propensos a generar una combustión incompleta debido a que la tecnología convencional y sus procesos manuales no cuentan con un sistema de control de la proporción de oxígeno requerido.

Los factores que hacen de estas emisiones generadas, aún más propensas a generar un impacto mayor se refieren al viento y a sus efectos. La velocidad del viento y dirección juegan un rol vital en la dispersión de los contaminantes (Pokhrel, 2014). Como se

encontró en el diagnóstico situacional mediante la rosa de vientos que la dirección predominante era hacia el sureste con velocidades de 3 a 4 m/s, la extensión de los contaminantes mencionados seguirían una dirección desde el horno hacia las poblaciones colindantes de la Urb. Villa Continental. Afectando en primera instancia al contribuir con la generación de infecciones y enfermedades respiratorias, así como también contribuyen al calentamiento global, lluvias ácidas, deterioro de la calidad del aire, etc.

4.1.5 Evaluación de la huella de carbono como indicador de GEI

La valoración del aspecto ambiental en la evaluación de impactos ambientales realizada previamente muestra que los procesos en la producción de ladrillo y sobre todo el proceso de cocción, resulta ser el que tiene un mayor impacto, ya que, hace uso crítico de combustible y, por lo tanto, las emisiones obtenidas de la quema del combustible contribuyen al incremento de los GEI representativos para la medición de la Huella de Carbono. Por lo tanto, la evaluación ex ante de la actividad productiva para la evaluación de la Huella de Carbono (Ver anexo II), comprendió la caracterización del proceso de cocción del Horno del Tiro Invertido, haciendo un monitoreo y valoración del indicador ambiental en condiciones normales de operación, empleando el método de las Directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático IPCC (2006) para poder obtener las emisiones específicas medidas por la reducción del consumo de combustible durante el proceso de producción de ladrillos. Y luego de haber obtenido los datos de las mediciones del combustible R500 y la cantidad de ladrillo Hueco H15 cocido, se obtuvieron la Energía liberada y la Emisión de CO₂eq del combustible (ver anexo II); los cuales fueron pasos previos a hallar las Emisiones específicas de CO₂eq por producción que corresponden a la HDC.

Emisiones específicas de CO₂eq por producción

Las emisiones específicas obtenidas de CO₂eq para la producción en el Horno de Tiro Invertido N° 1 por tonelada de ladrillo cocido, corresponden a la HDC hallada, las cuales se obtuvieron mediante la relación de la Emisión de CO₂eq del combustible

R500 que fue 19.058 ton CO₂eq y la cantidad de producto terminado ladrillo H15 cocido de producción que fueron 37.728 ton, como se ve en la Ecuación 7 a continuación. La cual está basada en las ecuaciones 10 y 11 del anexo II.

Ecuación 7: Emisión específica de CO₂eq por producción

$$\text{Emisión específica de CO}_2\text{eq por producción} = \frac{\text{Emisión de CO}_2\text{eq combustible (ton CO}_2\text{eq)}}{\text{ladrillo cocido (ton)}}$$

Fuente: IPCC, (2006)

Al reemplazar:

$$\text{Emisión específica de CO}_2\text{eq por producción} = \frac{19.058 \text{ (ton CO}_2\text{eq)}}{37.728 \text{ (ton)}} =$$

0.51 ton CO₂eq /ton ladrillo cocido

Con los resultados de las mediciones en la evaluación ex ante del proceso de cocción del ladrillo H15 en el Horno de Tiro Invertido N° 1 por 36 horas y 30 minutos; se obtuvo 0.51 ton CO₂eq por ton de ladrillo cocido, donde tonCO₂eq, se refieren a la cantidad de emisión específica de GEI por la producción del ladrillo cocido que vendría a ser la HDC para la operación de este tipo de horno. Lo cual se puede ver a continuación a manera de resumen de los datos obtenidos en la Tabla 16.

Tabla 16. Determinación del indicador ambiental del Horno de tiro invertido

Fecha de medición	Ladrillo H15 (unidades)	Ladrillo H15 (ton)	Consumo de combustible (gal)	Indicador ambiental tonCO ₂ eq/ton ladrillo cocido
11 y 12/10	6000	37.728	1782.9	0.51

Fuente: Elaboración propia

Dado que, tanto el combustible empleado (cantidad consumido, densidad, factor de emisión de CO₂ sobre la base del valor calorífico neto) como la actividad productiva (cantidad de ladrillo cocido) son determinantes para la obtención de la HDC, resulta necesario analizar las características propias del aceite residual R500 y la relación entre

la actividad productiva y el Horno Convencional de Tiro Invertido, los cuales se ven reflejados en los datos obtenidos. Y resultando en que la relación entre ambos aspectos refleja el desempeño del Horno de Tiro invertido en cuanto a su HDC, es necesario también su análisis. Por lo que, primero se discute acerca de las propiedades del combustible.

De acuerdo con las características propias del R500, éste resulta ser de carácter contaminante, lo cual se puede ver en la bibliografía, el SEACE define al aceite residual R500 como el combustible obtenido de la mezcla de productos residuales, es decir la combinación de hidrocarburos con características pesadas, viscosas, libre de agua, de ácidos inorgánicos, alcalinos y de altas cantidades de partículas en suspensión de contaminantes. Lo cual se puede ver a mayor alcance en las Hojas de seguridad del combustible en el Anexo IX. Y a su vez, en el índice de nocividad de combustibles (INC) del MINAM, se encuentra en el ranking más bajo con 36,0 siendo el mayor grado de toxicidad.

Por otro lado, de manera más específica en cuanto a las características de dicho combustible, las Directrices del IPCC 2006 afirman que el contenido de carbono por unidad de energía, es decir su factor de emisión, suele ser menor para los productos ligeros refinados, como la gasolina, que para los productos más pesados como el petróleo residual. Por lo tanto, el contenido de carbono del R500 está directamente relacionado a su alta liberación de energía propia de las características de este combustible. Es decir que, su contenido de carbono al oxidarse va a emitir mayor CO_2 dado que el factor de emisión de CO_2 en este tipo de combustible es el mayor de todos los combustibles, que es 73300kg/TJ el cual es un valor por defecto proporcionado por el inventario de emisiones de las Directrices del IPCC. Y por lo tanto su valor tan alto contribuiría también con el incremento de la HDC.

Asimismo, las Directrices del IPCC 2006 afirman también que los factores de emisión de CO_2 reflejan la cantidad total de carbono presente en el combustible sin tomar en cuenta la fracción no oxidada de éste suponiendo una combustión total, la cual no se

toma en cuenta ya que dicha fracción suele ser pequeña. Es decir que se considera una quema eficaz donde los procesos de combustión son optimizados para obtener la máxima cantidad de energía por el combustible consumido, logrando obtener la mayor cantidad de CO₂ y por lo tanto el proceso de quema en sí, no es relevante al obtener los factores de emisión de CO₂ ya que sólo depende del contenido de carbono presente en el R500. Cabe mencionar que los niveles 2 y 3 del método de las Directrices del IPCC, consideran factores de emisión específicos por país o modelos de emisión más complejos y se optó por el método de nivel 1 ya que el valor por defecto de los factores de emisión del inventario de emisiones del IPCC representa un dato con gran exactitud y así mismo Perú no cuenta con inventarios de factores de emisión.

Seguidamente se discute acerca de la combustión del R500 de acuerdo con el funcionamiento del Horno de Tiro Invertido.

Si bien el Horno de Tiro Invertido y su tecnología en cuanto a la eficacia de la combustión del R500 son irrelevantes respecto a la cuantificación de las emisiones obtenidas, su importancia radica en la cantidad de combustible empleado para la jornada de quema y la actividad productiva en cuanto a la cantidad de producto final obtenido.

Ya que, ambos aspectos tanto la cantidad de combustible empleado y la cantidad de ladrillo cocido obtenido y su relación determinan el desempeño del horno en cuanto a su HDC, es importante evaluar el uso eficiente del combustible procurando el ahorro de energía en cuanto al funcionamiento y operación del horno. Lo cual se ve reflejado en la optimización del calor obtenido producto de los procesos de combustión dentro del horno, siendo éste el responsable de la cocción de los ladrillos.

Estructuralmente, el calor dentro del horno se esparce verticalmente debido a que éste tiende a subir y al llegar a la cúpula la temperatura se distribuye hacia los ladrillos bajando lo que es provocado por la succión de los ductos ubicados en la parte inferior del horno que llevan estos gases hacia la chimenea provocando así el efecto de tiro

invertido. Pero hay diferentes factores de su propio funcionamiento que impiden que el proceso de quemado sea lo más eficiente posible. Uno de ellos es el mayor consumo específico de combustible por la demanda adicional para su prendido gradual y precalentado en un gradiente de temperatura hasta lograr los 800°C que recién corresponden a las 4 horas de la quema como tal, del total de 36 horas y 30 min que dura todo el proceso de cocción. Otro es la combustión incompleta e ineficiente al encender el horno. El encendido es de carácter manual y mediante un balón de gas, se favorece el encendido del combustible R500 emitido a cada uno de los 6 quemadores del horno. Si se realiza de manera intempestiva, se da una generación excesiva de humo negro emitida por la chimenea.

Y finalmente, las pérdidas de calor significantes. Terminado el proceso de quema, el enfriamiento se da de manera natural y tarda un día, una parte del calor es recuperado mediante tuberías hacia el secadero y otra parte es desperdiciada hacia el ambiente. Para lograr de alguna manera la rapidez del enfriamiento se apoya con un ventilador externo.

Para términos de eficiencia en este sistema de cocción, Cabrera (2019) en su estudio del Horno de Tiro Invertido en Cuenca, afirma que se presentan diferentes tipos de pérdidas de calor, siendo un 13% de pérdida por gases de escape del calor generado por la combustión del combustible por las chimeneas, debido a la falta de distribución uniforme de los gases en el horno, por lo que, los gases calientes reaprovechables son perdidos a través de la chimenea incontrolablemente. Y una pérdida de hasta 54% por las fugas al medio ambiente por las paredes del horno; se toman otros tipos de pérdida como la pérdida de humedad del ladrillo, combustión mecánica incompleta, etc., que no se toman en cuenta ya que su valor no es significativo.

De manera similar ocurre en nuestro caso de estudio, ya que, las pérdidas por gases de escape del calor no son reaprovechados en la etapa de precalentamiento y enfriamiento lo que genera un desperdicio de éste al ambiente y mayor consumo de combustible para volver a calentar el horno en un siguiente proceso de quemado. Y la parte

recuperada de este calor en la etapa de enfriamiento hacia el proceso de secado es pequeña que no lo abastece completamente generando la limitación de este proceso productivo y la pérdida al ambiente del resto de calor generado.

En cuanto a la pérdida de calor por fugas al ambiente, estas se dan por la falta de aislamiento térmico en las paredes, o menor espesor de éstas debido al sistema constructivo manual y la falta de hermeticidad en las puertas, ya que, sólo son cubiertas temporalmente al cerrarse con adobe y barro. Lo que generaría un mayor consumo de combustible, mayor tiempo de quema y pérdida de la calidad del ladrillo. El Reporte de la evaluación científica de casos exitosos de tecnología en Latinoamérica de SWISSCONTACT (2015), atribuye su bajo rendimiento de energía al consumo energético alto, la necesidad de aplicar aire forzado durante la quema, un índice de pérdidas elevado y un ciclo de producción largo.

Asimismo, el manual de hornos eficientes en la industria ladrillera elaborado por el EELA afirma a su vez similitudes con lo ya mencionado, a pesar de que tiene un régimen discontinuo, su rendimiento es mediamente aceptable y las limitaciones en cuanto a la distribución del calor en la carga son menores ya que al ser circular no hay rincones extremos llevando a menores pérdidas. Y su distribución de calor sección vertical no es muy homogénea ya que la temperatura en la parte superior del horno sube rápidamente no alcanzando los niveles requeridos en la parte inferior reduciendo la calidad del producto en dicha zona y en general obteniendo un máximo de calidad de hasta un 60%. A su vez toma bastante tiempo para calentarse y enfriar al contar con gran inercia térmica. Todo esto añadido a las pérdidas de calor por radiación y convección por las paredes laterales, techo abovedado, y puertas de alimentación de combustible, el rendimiento energético no es muy elevado.

Bajo ese contexto, se obtuvo un valor para la Huella de carbono de 0.51 ton CO₂ / ton ladrillo y en comparación con el promedio obtenido por SWISSCONTACT (2015) de emisiones de este tipo de horno con un valor de 330 g de CO₂ por kg de ladrillo producido, al hacer la conversión del dato obtenido en la práctica daría 51 g CO₂ / kg

de ladrillo, se observó que el valor obtenido en la práctica es menor al dato bibliográfico el cual excede en un 85% debido a los factores ya mencionados. En contraste con esto, un caso de estudio de la eficiencia energética del Horno de Tiro invertido en Cuenca (Cabrera, 2019), encontró una eficiencia del 18%, mientras que el manual de hornos eficientes en la industria ladrillera elaborado por el EELA determinó un 38% de eficiencia.

Es importante determinar que el empleo y la importancia de la metodología de la evaluación de la Huella de Carbono elegida reside en la eficiencia energética. Como lo menciona Espíndola (2018) en su investigación, que el uso de la HDC ha encontrado un importante campo de aplicación en ámbitos tales como la eficiencia energética, y en el impacto sobre los costos operacionales de la empresa, contribuyendo no sólo a la sustentabilidad ambiental, sino también, a la rentabilidad económica de la misma. Y a su vez, define a la eficiencia energética como el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Es decir que, los resultados elevados de la medición de la HDC obtenidos en la evaluación ex ante, reflejan la ineficiencia productiva del Horno Convencional de Tiro Invertido y el combustible empleado que es el aceite residual R500, ya que presenta mayor consumo de combustible comparado con la baja producción obtenida. Tanto los costos y ajustes al precio de los mercados internacionales como las grandes cantidades de CO₂ emitidas en el proceso de combustión del R500, son factores determinantes para la búsqueda de su uso racional y disminución de consumo o el cambio a otra matriz energética. Por lo tanto, se tomaron en cuenta alternativas que contribuyan a la disminución de la HDC y mejora de la eficiencia energética que contemplen el cambio de la fuente energética hacia un combustible más limpio y también de la tecnología en el proceso de cocción de los ladrillos.

4.2 Determinación de la tecnología limpia adecuada para la etapa de cocción de ladrillos mediante la metodología Scoring

De acuerdo con la Tabla 2, la cual contiene datos bibliográficos de las tecnologías elegidas, se realizó la valoración de parámetros, de acuerdo con la metodología, quedando de la siguiente manera en la Tabla 17:

Tabla 17. Valoración de alternativas propuestas por criterio

CRITERIOS (i)	PONDERAC. (w _i)	TIPO DE HORNO								
		Rating de cada alternativa (r _{ij})								
		TIRO INVERTIDO	COLMENA	PAULISTIN HA	VAGON	CEDAN	HOFFMAN	TUNEL	FCBTK	VERTICAL CONTINUO
Emisiones a la atmósfera	5	6	2	1	4	4	8	7	5	7
Calidad del Producto	5	5	5	4	9	7	7	9	4	7
Combustible Usado	4	3	4	3	3	3	7	9	4	4
Consumo de Energía	4	3	3	3	4	4	4	6	5	8
Capacidad de Producción	3	2	1	1	6	7	3	9	4	5
Inversión	2	9	7	7	3	4	5	2	6	4

Fuente: Elaboración propia

Luego, para calcular el Score final y elegir la mejor tecnología, se aplicó la siguiente ecuación para cada alternativa (Ver Anexo VI).

Ecuación 8. Cálculo del Score de la alternativa

$$S_j = \sum_i w_i r_{ij}$$

Donde:

S_j: Score para la alternativa j

w_i: Ponderación para cada Criterio i

r_{ij}: Rating de la alternativa j en función del Criterio i

Quedando los siguientes resultados, mostrados en la Tabla 18.

Tabla 18. Ponderación de alternativas

CRITERIOS (i)	PONDERACIÓN (wi)	TIPO DE HORNO								
		$w_i * r_{ij}$								
		TIRO INVERTIDO	COLMENA	PAULISTIN HA	VAGON	CEDAN	HOFFMAN	TUNEL	FCBTK	VERTICAL CONTINUO
Emisiones a la atmósfera	5	30	10	5	20	20	40	35	25	35
Calidad del Producto	5	25	25	20	45	35	35	45	20	35
Combustible Usado	4	12	16	12	12	12	28	36	16	16
Consumo de Energía	4	12	12	12	16	16	16	24	20	32
Capacidad de Producción	3	6	3	3	18	21	9	27	12	15
Inversión	2	18	14	14	6	8	10	4	12	8
SCORE (Sj)		103	80	66	117	112	138	171	105	141

Fuente: Elaboración propia

Emisiones a la atmósfera

Según la Tabla 18 el horno Hoffman tiene el mayor puntaje (40) por lo cual, resultaría menos contaminante en comparación al resto. Luego, sigue el Horno Túnel junto con el Horno Vertical continuo que tienen la misma calificación (35), superando al Horno de Tiro Invertido. Lo cual, coincide con resultados de un estudio realizado por Rajarathnam, et al. (2014), quien comparó cinco tecnologías con diferente escala de producción (Horno Túnel, Horno Vertical Continuo, FCBTK, Horno Zig-Zag y Horno de Tiro Invertido), concluyendo que la combustión en el Horno túnel muestra un mejor rendimiento, por lo tanto, un mejor desempeño ambiental en comparación con el resto de tecnologías; y mostrando al Horno de Tiro Invertido como el más contaminante, ya que, registró un desempeño ambiental deficiente con altos niveles de emisión de PM y CO. Refiriendo que,

el cambio de tecnologías tradicionales como el Horno de Tiro Invertido a tecnologías avanzadas como el Horno Túnel puede reducir las emisiones de CO y PM en un 60% -70%.

El hecho de que el puntaje del Horno Túnel sea menor al del Horno Hoffman, se debe a que el Horno Túnel tomado en referencia tiene como combustible carbón granulado, por lo cual, los valores de emisión de CO₂ fueron altos (Tabla 2), pero una de las ventajas del horno túnel es la flexibilidad en el tipo de combustible que puede utilizar, entre ellos: carbón granulado, coque, gas licuado de petróleo y gas natural (Yüksek, et al., 2020). La combustión más limpia se logrará utilizando gas natural. No hay emisiones de óxidos de azufre en base de este combustible. Sin embargo, existen emisiones de óxido de nitrógeno basadas en la combustión con aire ambiente que contiene 78% de nitrógeno. Dependiendo de la temperatura de cocción, la cantidad de óxidos de nitrógeno variará (Rimpel, 2019).

Calidad del Producto

En este apartado, el horno túnel es la mejor opción en todos los parámetros, ya sea la calidad de los ladrillos cocidos, la capacidad de cocer una variedad de arcillas y productos diversificados, incluyendo una variedad de ladrillos huecos (Maithel, et al., 2014). Los factores que contribuyen a esta mejora de la calidad incluyen un buen control del proceso de secado y la capacidad de lograr una buena distribución del calor que genera una temperatura uniforme a lo ancho de la sección transversal en la zona de quema, por lo cual, los ladrillos se cuecen de manera uniforme y no sufren sobreexposición al calor, ni tampoco sufren cambios radicales de temperatura, según estudios (Rimpel, 2019) esto se debe a que luego de la cocción, la temperatura se reduce gradualmente en la zona de enfriamiento, de modo que los productos terminados al descargarlos del horno tengan una temperatura cercana a la temperatura ambiente, evitando roturas.

Combustible Usado

El Horno Túnel es el que obtiene mayor puntaje (36), ya que, como se mencionó anteriormente, tiene una gran flexibilidad en el uso de diferentes tipos de combustible, los cuales pueden ser: carbón granulado, coque, gas licuado de petróleo y gas natural, siendo

el gas natural el combustible más limpio. Luego le sigue el Horno Hoffman (28), el cual, también es versátil en el uso de combustible y por último tenemos al Horno de Tiro Invertido junto con el Horno Paulistinha, Vagón y Cedan con el menor puntaje (12), por sólo poder utilizar combustibles contaminantes como aserrín, leña y petróleo.

Consumo de Energía

En este caso, el Horno Vertical Continuo resulta más eficiente (32), debido a que cuenta con un flujo muy eficiente de transferencia de calor contracorriente entre el aire y los ladrillos, una distribución uniforme del combustible y suficiente aislamiento alrededor del horno; pero genera un producto de menor calidad porque, tal como refiere SWISSCONTACT (2013) el calentamiento y enfriamiento rápidos de los ladrillos causan rajaduras y daños a los ladrillos.

La mayoría de los hornos tradicionales, como el FCBTK, consumen una mayor cantidad de energía que los hornos contemporáneos, como el VSBK y Hoffman. Además del tipo de horno, el área de la superficie de enfriamiento en los hornos también afecta la eficiencia energética. Los hornos de pequeños pierden hasta 3,5 veces más energía a través de sus superficies de enfriamiento que los más grandes (Yüksek, et al., 2020). Los hornos rectangulares más grandes y las abrazaderas pueden lograr una mejor eficiencia de combustible gracias a menores pérdidas de calor debido a la menor relación volumen/superficie (Hashemi, et al., 2015).

Luego está el Horno Túnel (24), el cual, tiene como una de sus mayores ventajas la producción de aire caliente generado en la etapa de cocción de ladrillos, el cual, puede recircularse hacia el área de secado, reduciendo significativamente el consumo de energía eléctrica. Numéricamente un horno túnel puede arrojar altos valores de consumo de energía específico, esto se debe a que además de la etapa de cocción, el consumo de energía específico también incluye la energía suministrada a la secadora (Maithel, 2014). Siendo el 90% de la energía consumida energía térmica recuperada del área de cocción hacia al área de secado, mientras que el 10% restante corresponde a energía eléctrica. En consecuencia, se considera una de las tecnologías más eficientes energéticamente en la

actualidad, debido a los métodos de recuperación de calor que se pueden utilizar en el proceso (Manrique, et al., 2018). Así como lo afirma SHAKTI (2012), la mayor oportunidad radica en reducir la fuga de aire en la zona de precalentamiento del horno, realizando un sellado adecuado entre los vagones; además, reducir la masa de los carros del horno también puede ayudar a reducir el consumo de energía.

Capacidad de Producción

Otro de los mayores beneficios de la tecnología de los hornos de túnel reside en su mecanismo de alimentación de materia prima y su versatilidad para la cocción de diversos productos, lo que incrementa su potencial de capacidad de producción (Hossain, 2019). Asimismo, su buena distribución de calor y cambios de temperatura graduales a lo largo del proceso, logran un producto de buena calidad, lo cual se traduce en la reducción de mermas o residuos, por lo cual la capacidad de producción es mayor a las demás tecnologías en relación ton materia prima/ton producto final.

Inversión

El Horno de Tiro Invertido, Colmena y Paulistinha, tienen los mayores puntajes en este apartado, debido a que son hornos tradicionales de bajo costo, ya que, la tecnología y combustible utilizados en estos, son convencionales, por lo que, su implementación generalmente sólo es viable para ladrilleras artesanales con procesos mecanizados.

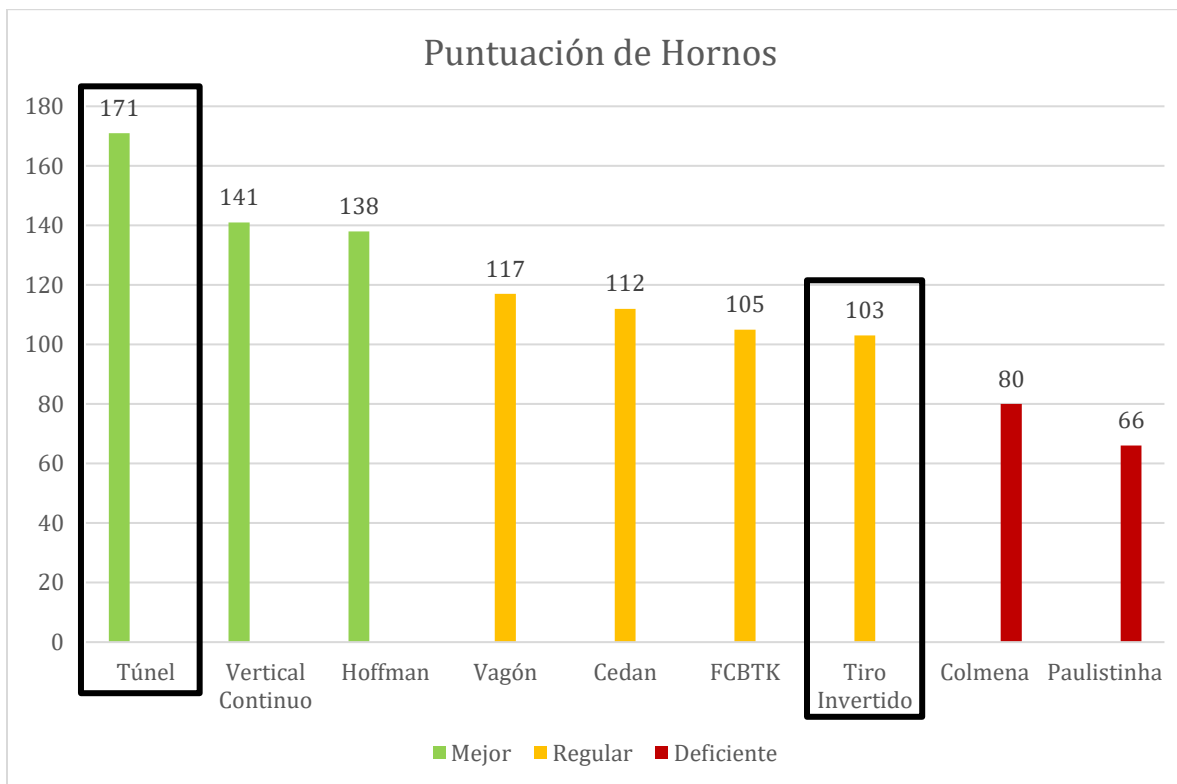
Por otro lado, el Horno Túnel es el peor puntuado, debido a la alta inversión que requiere para su instalación. Es por esto por lo que, es importante considerar los costos ocultos. Los costos ocultos son los costos asociados con la adopción de una tecnología que no están incluidos en un modelo de inversión estrecho que considera solo los costos de inversión iniciales o directos. Los gerentes de las industrias suelen desconocer los costos ocultos antes de la inversión porque no hay suficiente información disponible sobre el costo de adaptación a la escala de producción, trámites de comercio exterior o mantenimiento, entre otros. Además, la ausencia de análisis de costo-beneficio y viabilidad de tecnologías eficientes también impiden o retrasan las inversiones para adoptar medidas de eficiencia

energética (Manrique, et al., 2018). Por ejemplo, SWISSCONTACT (2015), realizó un estudio en el cual asesoró a empresarios de diversos países de América Latina para la adopción de mejoras tecnológicas, donde además de la descripción bibliográfica de las tecnologías implementadas, realizó entrevistas a expertos y stakeholders para conocer las ventajas y desventajas de la implementación de las tecnologías en cada caso. Uno de ellos en Ecuador, realizó el cambio de un mecanismo artesanal a un Horno de Tiro Invertido. El representante de dicha empresa indicó una serie de ventajas de la adopción de la nueva tecnología. Pero además indicó las desventajas, siendo estas: el aumento de los costos en control de procesos, energía eléctrica, mantenimiento de equipos; los costos de formalización y pago de impuestos. Como podemos ver, todas las desventajas mencionadas en cuanto a la adopción de la nueva tecnología se refieren a “costos adicionales”. Entonces, se puede deducir que, el adoptar una tecnología con bajo costo de inversión no necesariamente significa un ahorro, ya que, existen costos asociados, que a largo plazo pueden suponer un mayor gasto.

La tecnología del horno túnel es adecuada para la producción a gran escala, requiere una gran inversión de capital, pero si consideramos su desempeño en cuanto a consumo de energía eléctrica, consumo de combustible, calidad de producto y capacidad de producción; el retorno de la inversión se acorta, al haber reducido los consumos y obteniendo mayores ganancias.

Al ordenar las alternativas en función del Score, tenemos que, la alternativa del Horno túnel es la mejor puntuada, con (171). La cual, en relación con la tecnología inicial (el Horno de Tiro Invertido) gana por 68 puntos como podemos observar en la Gráfica 6.

Gráfica 6. Score de Alternativas



Fuente: Elaboración propia

La tecnología que sigue como mejor puntuada es el Horno Vertical Continuo (141). Dicha tecnología podría competir con el Horno Túnel debido a su eficiencia energética mencionada en diversas investigaciones³⁴⁵ por su bajo consumo en combustible y su diseño, que permiten que el horno presente bajas emisiones. Este horno es fácil de controlar, y tiene un ciclo de producción corto en comparación con otros hornos, pero debido al calentamiento y enfriamiento rápido de los ladrillos, se producen rajaduras y daños en los mismos, por lo cual, tiene problemas de baja productividad y mala calidad de los ladrillos cocidos con ciertas arcillas; puede producir ladrillos sólidos y estructurales, pero no permite la producción de ladrillos con huecos o productos más delgados, como

³ Rajarathnam, U., Athalye, V., Ragavan S., Maithel S., Lalchandani D., Kumar S., Baum, E., Weyant, Ch., Bond T. (2014). Assessment of air pollutant emissions from brick kilns. ElSevier: Atmospheric Environment 549-553

⁴ Maithel, S., Heierli, U. (2014). Brick by Brick: The Herculean Task of Cleaning Up the Asian Brick Industry. ResearchGate

⁵ SHAKTI Sustainable Energy Foundation. (2012). Brick Kilns Performance Assessment - Monitoring of brick kilns & strategies for cleaner brick production in India. Dehli: Greentech Knowledge Solutions

tejas o pisos (Jiménez, 2017). Además, al ser de naturaleza modular, se puede utilizar para la producción a pequeña y mediana escala (SHAKTI, 2012).

En último lugar se encuentra el Horno Paulistinha con una puntuación bastante baja (66). Este horno presenta deficiencias relacionadas con la distribución de calor, lo que resulta en espacios fríos y calientes dentro del horno. Es por esto por lo que se dan diferencias en la calidad de producto que suelen ser ladrillos poco cocidos y quemados en exceso. El tipo de combustible que usa suele ser leña (ramas y pedazos de madera), por lo cual, su desempeño ambiental es bajo por los gases contaminantes que genera. Pero según estudios realizados por SWISSCONTACT (2015) este horno es ampliamente usado en la industria ladrillera artesanal debido a los bajos costes de construcción e instalación además que es un horno de baja escala de producción.

4.3 Evaluación de la tecnología limpia implementada – Horno Túnel

Se realizó la evaluación de impactos ambientales generados en la etapa de producción de ladrillos con la nueva tecnología implementada (Horno Túnel); así como, la evaluación de la huella de carbono como indicador de GEI.

4.3.1 Valoración del Impacto Ambiental de la tecnología limpia

Luego de haberse implementado el horno túnel como tecnología limpia alternativa y el cambio de matriz energética a GLP, se realizó la evaluación de los impactos ambientales, por lo que se relacionaron las actividades de los procesos productivos con los componentes y factores ambientales siguiendo la metodología de la matriz Conesa y mediante la fórmula propuesta para valorar el grado de importancia. Para lo cual, como síntesis del anexo 7 que es la Matriz de Importancia Conesa, se realizó la valoración de los impactos que se muestran en la Matriz resumen de Importancia de Conesa, que corresponde a la Tabla 19 a continuación.

Tabla 19. Matriz resumen de Importancia Conesa con el Horno Túnel

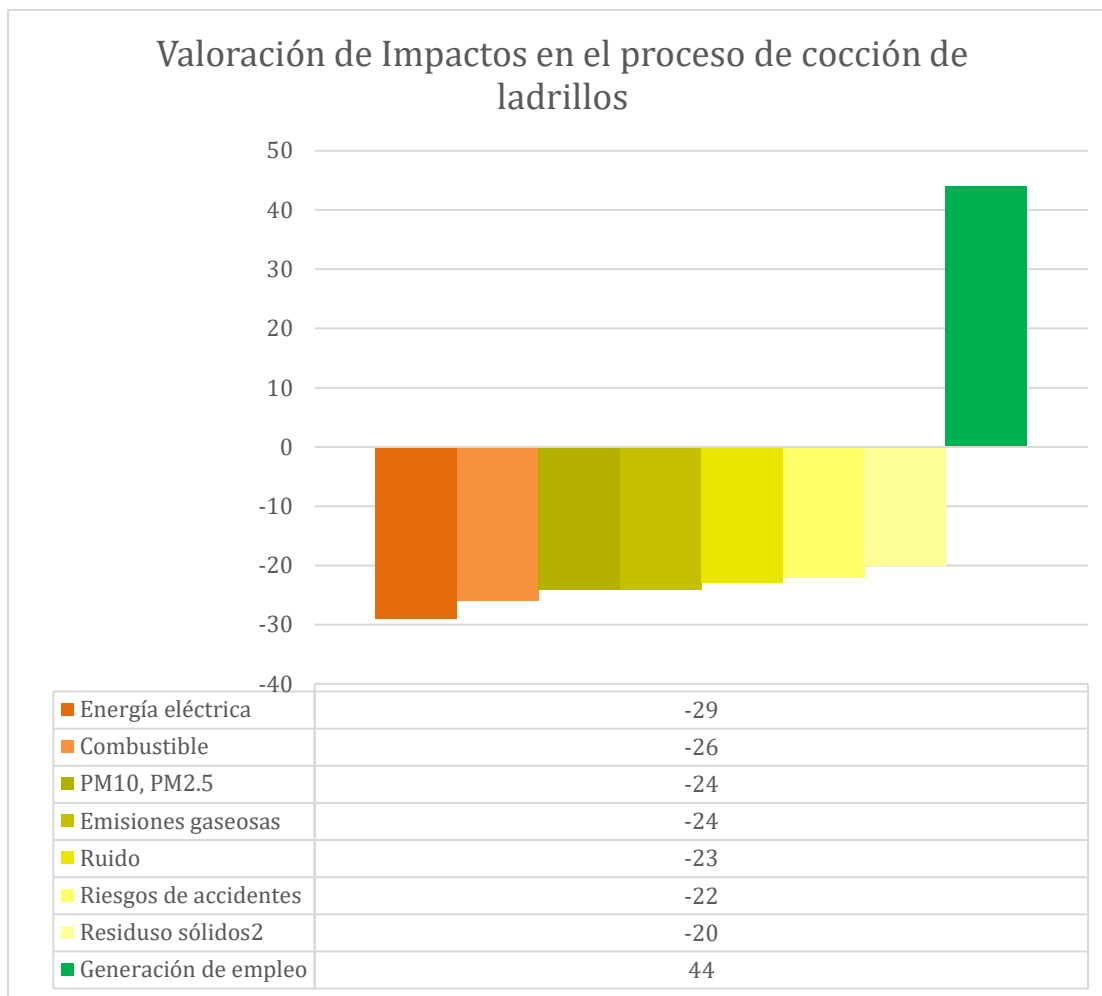
COMPONENTES Y FACTORES AMBIENTALES		ACTIVIDADES	Recepción de materia prima	Carguío de materia prima a	Molienda	Extrusión	Secado	Cocción	Almacenamiento	Producto final	IMPORTANCIA DEL IMPACTO		CALIFICACIÓN
											POSITIVO	NEGATIVO	
											Físico	Suelos	
Residuos sólidos	-23	0	0	-20	-20	-20	-18	-17		-20			Leve
Vibraciones	-23	-26	-26	0	0	0	0	0		-25			Moderado
Atmósfera	Emisiones gaseosas	-27	-24	0	0	-26	-24	-24	-23			-23	Leve
	PM ₁₀ y PM _{2.5}	-27	-24	-27	0	0	-24	-24	-23			-25	Moderado
	Ruido	-21	-21	-26	-23	-23	-23	-21	-20			-23	Leve
Agua	Uso de agua superficial	0	0	-24	-24	0	0	0	0			-24	Leve
Energía	Energía eléctrica	0	0	-27	-33	-27	-29	0	0			-29	Moderado
	Combustible	-24	-24	0	0	0	-26	-24	-23			-24	Leve
Socio –	Economía	Generación de empleo	41	41	41	41	41	44	44	41	42		Moderado
		Activación de economía local	40	0	0	0	0	0	0	40	40		Moderado
	Salud y Seguridad	Riesgos de accidentes	-23	-26	-28	-28	-26	-22	-22	-22		-25	Moderado

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia en la tabla que, al relacionar los factores ambientales y actividades del proceso productivo los mayores impactos que se dan son vibraciones de suelos, generación de PM₁₀ y PM_{2.5}, energía eléctrica y riesgos de accidentes; los cuales, son calificados como Impactos Negativos Moderados al encontrarse por debajo del rango de clasificación <25. A su vez, se encontraron Impactos Positivos Moderados, los cuales son generación de empleo y activación de la economía local. Sin embargo, específicamente en el proceso de cocción en cuanto al impacto a la atmósfera, las emisiones gaseosas y PM₁₀ y PM_{2.5} han reducido su valoración con -24, lo que lo califica como Impacto Negativo Moderado al encontrarse por debajo del rango de

clasificación <25. Seguido de la energía como el segundo componente ambiental afectado por el consumo de energía eléctrica y combustibles, con una ponderación de -29 y -26 respectivamente que también se califica como Impacto Negativo Moderado.

Gráfica 7. Valoración de Impactos del Horno Túnel



Fuente: Elaboración propia

La Gráfica 7 demuestra la uniformidad progresiva de los valores en los impactos luego de haber sido implementado el Horno Túnel, siendo impactos leves, los cuales de acuerdo con la calificación Conesa, sus efectos son irrelevantes e impactos moderados, de los cuales sus efectos no requieren de prácticas correctoras.

A continuación, la Tabla 20 muestra la descripción de los Impactos Negativos generados en la cocción de ladrillos con el Horno túnel implementado, empleando el GLP como fuente energética.

Tabla 20. Descripción de Impactos Ambientales en el proceso de cocción de ladrillos con el Horno Túnel

Componente	Factor ambiental	Descripción del Impacto Ambiental	Importancia del Impacto
Suelos	Residuos sólidos	Contaminación y deterioro del suelo por la presencia y disposición de mermas de ladrillo cocido no tan significativa, debido a la disminución de ladrillos de mala calidad, y pérdida de sus propiedades mecánicas y accidentes de quiebres o manipuleo. La eficiencia del proceso productivo de cocción hace que haya temperaturas reguladas, una fluidez uniforme en el quemado, mayor capacidad y apilamiento en vagones sistematizado; lo que resulta en la mejora de la calidad del producto y menor empleo de mano de obra en el manipuleo del ladrillo al cargar y descargar el horno. Se hace un reaprovechamiento de las mermas generadas al ser molidas para obtención de gravilla y polvo de ladrillo.	-20
Atmósfera	Emisiones gaseosas	Contaminación no significativa por GEI y degradación de la calidad del aire debido a las emisiones tóxicas como SO ₂ , CO, NO ₂ , etc., generadas por los procesos de combustión del GLP. La combinación del empleo del GLP como matriz energética que es de carácter limpio con un grado de toxicidad bajo y la eficiencia del horno túnel que no sólo genera un proceso de combustión óptimo, menor tiempo quemado e incremento de la capacidad de ladrillo cocido y reaprovechamiento del calor generado en la zona de quema para la zona de precalentamiento, lo cual, reduce el uso de combustible	-24

		adicional y por lo tanto, se traduce en la disminución de las emisiones y también se reaprovecha el calor residual de la zona de enfriamiento para ser empleado como fuente energética del proceso de secado del ladrillo, evitando así que se utilice algún combustible u otra energía para su funcionamiento.	
	PM ₁₀ y PM _{2.5}	Contaminación del aire baja debido la disminución de partículas en suspensión ya que el GLP y su proceso de combustión no genera hollín y sus emisiones producto de las reacciones del proceso de combustión de los CO _x , SO _x , NO _x no son significativas.	-24
	Ruido	La contaminación y alteración generada son tolerables y son propias del funcionamiento de la tecnología.	-23
Energía	Energía eléctrica	Contaminación atmosférica por el empleo de procesos de combustión al generar el recurso, y alteración de las zonas de emplazamiento y ecosistemas donde se sitúan las hidroeléctricas, que como es en el caso de Arequipa son fuente del suministro eléctrico. Su evaluación se basa en la energía como recurso por lo que en su valoración influye también su irrecuperabilidad al ser de carácter no renovable. Sin embargo, el uso de dicho recurso es bajo en comparación con otros procesos y sólo se emplea para el funcionamiento del sistema eléctrico y chimenea del horno que no sobrepasan los 20 hp.	-29
	Combustible	Disminución y agotamiento del recurso no renovable. Sin embargo, su manipuleo, transporte y disposición son realizados mediante protocolos establecidos y gestores formales, lo que genera disminución de riesgos en cuanto a accidentes de derrames, pureza del combustible, etc.	-26
Economía	Generación de empleo	Si bien esta tecnología disminuye la cantidad de mano de obra jornalera y la reemplaza por sistemas	44

		tecnológicos, requiere de personal más capacitado e instruido para su funcionamiento como ingenieros eléctricos, operadores que se encargan del control y operación técnico del horno y personal capacitado para labores de manipulación de vagones cargados de ladrillo seco al ingreso y salida del horno y descarga del ladrillo cocido de los vagones.	
Salud y Seguridad	Riesgos de accidentes	El riesgo de accidentes disminuye en cuanto a que no hay apilamiento manual de los ladrillos hacia el horno, ya que son ingresados mediante vagones sistematizados, el personal no está expuesto a temperaturas altas ya que nunca ingresan al interior del horno y en la manipulación en la descarga de vagones los ladrillos ya se encuentran fríos. Por otro lado, los sistemas de abastecimiento del GLP se encuentran controlados bajo los protocolos de seguridad propios de la manipulación de este tipo de combustible.	-22

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la valoración de impactos ambientales, se determinó la disminución del impacto a la atmósfera, sin embargo, un estudio del 2019 en Bangladesh acerca de la evaluación del proyecto del horno túnel (Rimpel, 2019), afirma que el impacto ambiental por parte de esta tecnología se confina casi exclusivamente al problema de la calidad de aire como es en todos los casos de los hornos de ladrillos. Además, infieren en que las emisiones generadas en el proceso de quema usando esta tecnología dependen del tipo de combustible empleado, la calidad del proceso de combustión, la composición del material crudo, así como también el manejo del horno.

Se encontró también que la mayoría de las emisiones generadas se dan por la quema del combustible, donde se desprenden óxidos de sulfuro, mercurio y óxidos nitrosos emitidos en la zona de quema del horno y su magnitud depende de la composición del combustible.

En cuanto a la cantidad del carbono total obtenido y las emisiones de CO, dependen estrictamente del proceso de quema en el horno y las emisiones de los volátiles. A modo que se obtenga un menor impacto ambiental generado por las emisiones de los procesos de combustión, se debe considerar una combustión limpia mediante combustibles como el gas natural o el GLP.

En tal caso, el monitoreo de calidad de aire realizado (ver anexo VIII) refleja para el CO, 285.51mg/m^3 obtenidos directamente en los monitoreos de la chimenea y en comparación con el LMP de 1000, se puede ver que las emisiones obtenidas no son significantes. Y en los monitoreos tanto del área de oficinas como el área del producto terminado aledaño al horno, se obtuvo $1250\ \mu\text{g/m}^3$ de CO y en comparación con el ECA de $30\ 000\ \mu\text{g/m}^3$, se puede observar también que los valores obtenidos son significativamente bajos.

Por lo tanto, los valores obtenidos en los monitoreos reflejan tanto lo encontrado en el estudio en Bangladesh (Rimpel, 2019) que las emisiones de carbono y CO dependen del proceso de quema y una combustión y combustible limpios. Lo que sucede para que este proceso sea eficiente, se explica en la investigación de San José (2001) acerca de la combustión y combustibles. Quien refiere que para que se logre una combustión completa donde no se desprende CO, es necesario el equilibrio de un buen combustible que es el GLP, el control del comburente que es el oxígeno y la energía de activación la cual desencadena la reacción de la combustión mediante la eficiencia de los quemadores que inician la chispa eléctrica entre dos electrodos. La cámara donde se dan los procesos de combustión que es la zona de quema, se encuentra al centro del horno, la cual, está aislada de las otras dos zonas lo que hace que el control de la temperatura y aire sea mejor y, por lo tanto, la oxidación total del combustible con la cantidad de oxígeno mínimo requerido se traducen en una combustión más limpia. Asimismo, Roa (2006) en su investigación “Metodología para determinación de un factor de emisión particulado en Chircales de la Sabana de Bogotá”, afirma que la configuración de los ladrillos dentro de los hornos es importante para no dificultar la presencia de oxígeno y, por lo tanto, no ocasionar una combustión incompleta. Los ladrillos para quemar en el horno túnel se disponen en paquetes uniformes de

aproximadamente 240 ladrillos dependiendo del tipo, mediante vagones que ingresan a través de rieles. Lo cual permite el flujo del aire dinámicamente y no constituyen un obstáculo en su apilamiento.

Por otro lado, Rimpel (2019) plantea en cuanto a los niveles de óxidos de sulfuro obtenidos en los procesos de quema del horno túnel, que estas emisiones tienen que ver directamente con la cantidad de azufre en el combustible, donde se afirma que los gases líquidos de petróleo contienen 0% de azufre por masa. Lo cual, se puede observar en los resultados de los monitoreos de aire realizados, ya que, en la chimenea del horno túnel se encontró $<15 \text{ mg/m}^3$ de SO_2 el cual en comparación con los 300 mg/m^3 establecidos en los LMP, se encuentra en un nivel significativamente bajo. Asimismo, en cuanto a los puntos de monitoreo del área de oficinas y de producto terminado aledaño al horno, el valor de $<13 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ en comparación de $250 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ establecidos en el ECA, también infieren en su valor no representativo de impacto.

Y en cuanto a óxidos nitrosos, la generación de emisiones se basa en la combustión con el aire que se encuentra en el ambiente que corresponde a un 78% de nitrógeno. Si bien cuando se da la combustión, la cantidad de nitrógeno en el aire es la determinante en la generación de NO_2 , la tecnología del horno influye en la disminución de los óxidos nitrosos ya que, dependiendo de la temperatura y el control del aire en la zona de quemado, estos niveles varían.

Lo cual se puede ver también en los resultados del monitoreo realizado, donde se encontró en la chimenea un valor de 34.85 mg/m^3 de NO_x el cual en comparación con los 650 mg/m^3 de los LMP, son niveles muy bajos que no sobrepasan los límites de la norma. Y a su vez en el área de oficinas y producto terminado aledaño al horno, los valores hallados fueron de $104.17 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ de NO_2 en comparación con $200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ establecidos en el ECA, se afirma también que los niveles bajos hallados no corresponden a un impacto significativo.

Por otro lado, Roa (2006), afirmó que entre más incompleta la combustión mayor será la generación de material particulado. Las partículas generadas están compuestas por

cenizas e inquemados (Hollín). La presencia de humo (partículas en suspensión) es un indicador de qué tan eficiente es la combustión, notorias emisiones representan una combustión incompleta. Las emisiones de material particulado dependen principalmente de la configuración del horno, de la práctica de combustión, del contenido de ceniza y de azufre en el combustible. Generalmente las emisiones de PM se acrecientan durante el inicio del proceso (mientras se consigue una temperatura de combustión óptima) y cuando hay una muy alta cantidad de combustible frente a la cantidad de aire que estequiométricamente debe ser suministrado.

La cantidad de material particulado generado se puede ver en los resultados del monitoreo de calidad de aire, donde se halló en la chimenea 0.01 mg/m^3 de material particulado en comparación de 150 mg/m^3 del LMP, siendo su valor significativamente bajo. Y asimismo tanto en las áreas de oficinas como de producto terminado alrededor al horno se halló $13.42 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ de concentración de $\text{PM}_{2.5}$ y comparado con $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ establecido por el ECA, el nivel de $\text{PM}_{2.5}$ encontrado es bajo. Y en cuanto a PM_{10} , se halló $111.68 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ a Barlovento y 131.21 a Sotavento, tomando en cuenta la resta de los valores que ingresan menos los que salen se obtiene un $19.53 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ de concentración de PM_{10} que aporta netamente el horno túnel descontando las partículas propias de la zona por el polvo levantado por el viento de los terrenos eriazos. Al comparar ese valor con $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ del ECA, se tiene que es un valor muy bajo.

Los valores encontrados y en comparación con la investigación mencionada de Roa (2006), confirman que la combustión completa que se da en el horno túnel contribuye a la disminución de generación de material particulado, así como también la carencia de humos, cenizas, hollín. La dependencia del PM con el combustible empleado GLP debido a su carencia de azufre también contribuye a su disminución, así como también el control de las proporciones óptimas del GLP con respecto a la cantidad de aire requerida.

Asimismo, al ser un horno de sistema continuo donde no se interrumpe el ciclo de quemado para iniciar un nuevo proceso del incremento del gradiente de temperatura al haber solo una zona que es la de cocción donde se dan los procesos de combustión, es

decir que la combustión en esta zona siempre va a tener la misma temperatura y además no se generan procesos de combustión en la etapa de precalentamiento; se evita la generación de PM que normalmente se generan antes de conseguir la temperatura óptima para la cocción del ladrillo.

4.3.2 Evaluación de la huella de carbono como indicador de GEI

La evaluación ex post de la actividad productiva para la evaluación de la Huella de Carbono (Ver anexo V), comprendió la caracterización del proceso de cocción del Horno del Túnel, haciendo un monitoreo y valoración del indicador ambiental en condiciones normales de operación, empleando el método de las Directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático IPCC (2006) para poder obtener las emisiones específicas medidas por la reducción del consumo de combustible durante el proceso de producción de ladrillos.

Y luego de haber obtenido los datos de las mediciones del combustible GLP y la cantidad de ladrillo Hueco H15 cocido, se obtuvieron la Energía liberada y la Emisión de CO₂eq del combustible (ver anexo V); los cuales fueron pasos previos a hallar las Emisiones específicas de CO₂eq por producción que corresponden a la HDC.

Emisiones específicas de CO₂eq por producción

Las emisiones específicas de CO₂eq por la cantidad de ladrillo producido, se obtuvo mediante la relación de emisión de CO₂eq del combustible GLP que fueron 6.941 (ton CO₂eq) y la cantidad de producto terminado ladrillo H15 cocido de producción que fueron 90.252 (ton). En base a ello se obtuvieron las emisiones específicas para la producción en el horno túnel por tonelada de ladrillo cocido, lo que corresponde a la HDC.

De esta forma se obtiene el Indicador ambiental (ton CO₂eq/ton de ladrillo cocido), como se ve en la siguiente ecuación la cual está basada en las ecuaciones 12 y 13 del anexo V.

Ecuación 9: Emisión específica de CO₂eq por producción

$$\text{Emisión específica de CO}_2\text{eq por producción} = \frac{\text{Emisión de CO}_2\text{eq combustible (ton CO}_2\text{eq)}}{\text{ladrillo cocido (ton)}}$$

$$\text{Emisión específica de CO}_2\text{eq por producción} = \frac{6.941 \text{ (ton CO}_2\text{eq)}}{90.252 \text{ (ton)}} = 0.077 \text{ ton CO}_2\text{eq / ton ladrillo cocido}$$

Con los resultados obtenidos en las mediciones de la evaluación ex post en el proceso de cocción del ladrillo H15 en el Horno de operación continua tipo túnel por 36 horas y 20 minutos; se obtuvo 0.077 ton CO₂eq por ton de ladrillo cocido, el cual refiere a la cantidad de emisión específica de gases de GEI por la producción del ladrillo cocido que vendría a ser la HDC. La Tabla 21 a continuación, representa a manera de resumen los datos obtenidos en la evaluación de la HDC.

Tabla 21. Determinación del indicador ambiental

Fecha de medición	Ladrillo H15 (unidades)	Ladrillo H15 (ton)	Consumo de combustible (gal)	Indicador ambiental tonCO ₂ eq/ton ladrillo cocido
11 y 12/10	13080	90.252	1120	0.077

Fuente: Elaboración propia en base la evaluación ex post

De la misma forma como en el caso de la evaluación de la HDC hallada en la evaluación ex ante en el proceso de quema mediante la tecnología convencional, el análisis de los resultados se basa en cuanto al combustible empleado (cantidad consumido, densidad, factor de emisión de CO₂ sobre la base del valor calorífico neto) como la actividad productiva (cantidad de ladrillo cocido), los cuales, son determinantes para la obtención de la HDC. Es por eso por lo que, resulta necesario analizar las características propias del GLP y la relación entre la actividad productiva y el Horno Continuo Tipo Túnel, los cuales se ven reflejados en los datos obtenidos. Y resultando en que la relación entre ambos aspectos refleja la eficiencia del sistema de cocción, es necesario también su análisis.

Por lo que, primero se discute acerca de las propiedades del GLP. Debido a las características propias del GLP, se considera un combustible más limpio con respecto a otros. OSINERGMIN define al GLP como un combustible fósil que procede ya sea del fraccionamiento del petróleo en una refinería o de la destilación fraccionada de los líquidos del Gas Natural, los cuales al someterse a compresión se convierten en líquido y están compuesto por propano y butano (gases pesados) 60% y 40% respectivamente. Lo cual se puede ver a mayor detalle en las Hojas de Seguridad del combustible en el Anexo IX. Las propiedades características de ambos gases hacen que el GLP sea un combustible con mayores ventajas con respecto a los demás. Tiene una combustión eficiente limpia por lo tanto no produce humo ni hollín, y es de alto rendimiento energético ya que es uno de los combustibles con mayor valor calorífico. Es decir que genera mayor cantidad de calor liberado en la combustión completa en el aire por unidad de masa del GLP. Por lo tanto, producen mayor calor por menos combustión de energía. Propanogas de Madrid, infiere que tanto el valor calorífico del butano y del propano son los mayores en comparación como otras energías, como el gas natural o el petróleo residual. El valor calorífico del propano supera a todas las energías porque puede aportar 12,86 kWh de calor por cada kg quemado. Asimismo, el Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico de España: calcula de forma aproximada que, 1 Kg. de propano equivale a la energía proporcionada por: 1,20 lt. de fuel-oíl que es también conocido como el petróleo residual.

En el índice de nocividad de combustibles (INC) del MINAM, se encuentra en el ranking más alto, siendo el segundo con el menor grado de toxicidad.

Por otro lado, de manera más específica, las Directrices del IPCC 2006. afirman que el contenido de carbono por unidad de energía, es decir su factor de emisión, suele ser menor para los productos ligeros refinados, como en este caso el GLP, que para los productos más pesados como el petróleo residual. Por lo tanto, su contenido de carbono está directamente relacionado a su menor liberación de energía propia de las características de este combustible. Es decir que, su contenido de carbono al oxidarse va a emitir menor CO₂ dado que el factor de emisión de CO₂ en este tipo de

combustible es uno de los menores de todos los combustibles, que es 63100 kg/TJ el cual es un valor por defecto proporcionado por el inventario de emisiones de las Directrices del IPCC. Y por lo tanto su valor más bajo contribuiría también con la reducción de la HDC.

Seguidamente, se discute acerca de la combustión del GLP con respecto al funcionamiento del Horno Túnel. Como se mencionó anteriormente, para la obtención de la HDC, el método de las Directrices considera que el proceso de quema en sí no es relevante al obtener los factores de emisión de CO₂, ya que, sólo depende del contenido de carbono presente en el GLP. Y se supone una obtención más precisa del empleo de los factores de emisión, ya que, este está proporcionado por el inventario de las Directrices del IPCC. Sin embargo, si bien el Horno Túnel y su tecnología en cuanto a la eficacia de la combustión del GLP son irrelevantes respecto a la cuantificación de las emisiones obtenidas, su importancia radica en la cantidad de combustible empleado para la jornada de quema y la actividad productiva en cuanto a la cantidad y calidad de producto final obtenido. Debido a que, ambos aspectos tanto la cantidad de combustible empleado y la cantidad de ladrillo cocido obtenido y su relación determinan la eficiencia del horno, por eso es importante evaluar el uso eficiente del combustible procurando el ahorro de energía en cuanto al funcionamiento y operación del horno. Lo cual, se ve reflejado en la optimización del calor obtenido producto de los procesos de combustión dentro del horno, siendo éste el responsable de la cocción de los ladrillos. Por lo tanto, es importante lograr el mejor rendimiento del calor obtenido en la quema logrando la recuperación del calor y destinar la menor cantidad de calor en los puntos que constituyen pérdidas de calor, los cuales se mencionaron anteriormente. Ambos aspectos, se aplican en el funcionamiento del Horno Túnel y es allí donde radica las ventajas de esta tecnología en cuanto a su mayor rendimiento energético.

La concepción de su funcionamiento se basa en el aprovechamiento del calor en las tres etapas de quemado (precalentamiento, cocción, enfriamiento) y su gradiente de calor obtenido en cada una, ya que, fija una zona de fuego y hacer pasar los productos

a cocer siguiendo la curva de calentamiento. Lo cual supone disminución en el consumo del GLP para el ahorro del precalentamiento y enfriamiento de este en dos formas, la primera es que se trata de una tecnología de carácter continua lo que significa que no se utiliza combustible adicional para su encendido en cada lote de quema ya que opera de manera incesante. Y la segunda, es que se aprovechan los gases calientes de la zona de cocción para la etapa de precalentamiento y enfriamiento. Es decir que en la etapa de precalentamiento los 300°C requeridos, son obtenidos por el paso en contracorriente de los gases de combustión generados en la etapa de quema siendo intercambiados con la carga de los ladrillos a cocer y succionados por la chimenea. Y finalmente en la etapa de enfriamiento, el calor residual de los procesos de combustión es extraídos hacia el proceso de secado y su reaprovechamiento no genera ningún desperdicio de calor.

Por otro lado, no se dan pérdidas de calor dentro del horno debido a que su estructura en albañilería de su interior contiene material de revestimiento refractario aislante y a su vez la combustión completa se encuentra controlada mediante termopares de control de la temperatura de cocción que propicia el buen manejo de tanto la alimentación del aire de combustión como la del combustible, logrando así la total liberación y aprovechamiento de todo el calor y energía del GLP. Lo que supone no sólo la eficiencia y ahorro del combustible ya que se usa solo el necesario, sino que también una buena quema uniforme contribuye a la buena calidad del ladrillo cocido obtenido.

Para términos de eficiencia en este sistema de cocción, Weyant, et al. (2016) afirma que, debido al reaprovechamiento del calor, los hornos túneles son más eficientes energéticamente. Manrique et al. (2018) propone también que sus ventajas, se basan en la posibilidad de la recuperación del calor, ya sea en la etapa de enfriamiento o en los gases de combustión, flexibilidad en el tipo de combustible, mejor control de la temperatura y gradiente de cocción y capacidad de producción.

Un estudio en Bangladesh de asistencia técnica para financiar la mejora de hornos de ladrillo de IDCOL (2019), atribuye a las siguientes pérdidas de calor como influyentes

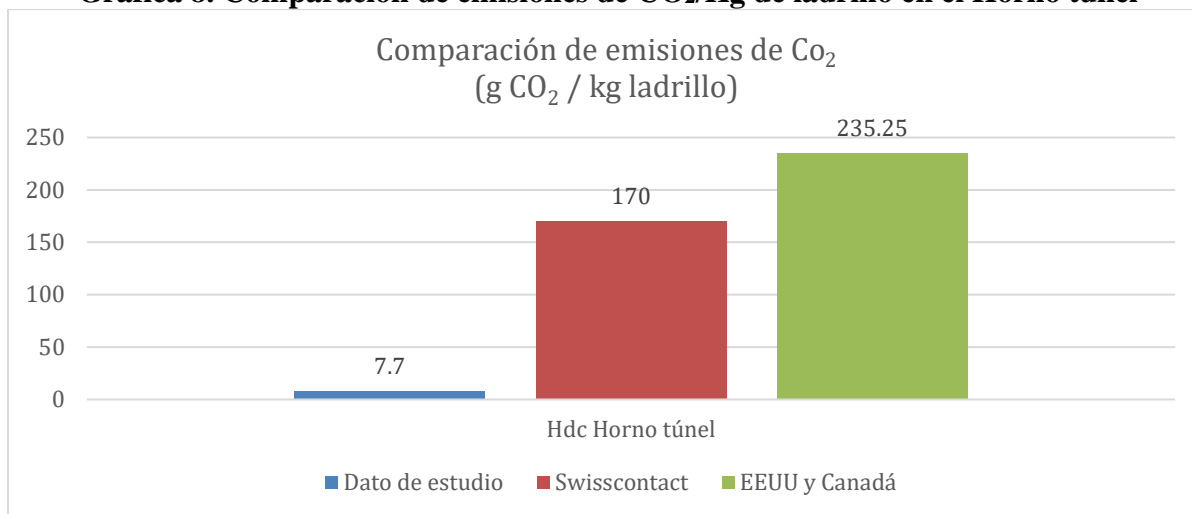
en cuanto al consumo de combustible en los Hornos Túnel; primero el calor de reacción, el cual es el calor obtenido en el proceso de quema en sí, en el cual el ahorro de energía no es virtualmente posible, seguido del calor de radiación el cual se refiere a la pérdida de calor por la superficie externa de temperatura tanto en las paredes como en el techo con valores que alcanzan desde los 40 a 270 kJ/kg los cuales se pueden evitar empleando los correctos materiales de aislamiento térmico y finalmente las pérdidas por los gases de combustión, las cuales se refieren a los gases residuales que resultan del mínimo volumen de aire requerido por el contraflujo de la corriente de aire en la zona de precalentamiento. La reducción de cualquier tipo de fuga de calor se puede dar mediante el correcto sellado de los vagones del horno, de las juntas en la albañilería del horno, siendo estas medidas importantes para la conservación de la energía.

En el caso del Horno Túnel en estudio, las pérdidas de calor son limitadas; en cuanto al calor de reacción, es inevitable el tipo de pérdida producida de manera similar al estudio en Bangladesh por el normal desarrollo de la obtención de energía en la zona de quemado, sin embargo, se evitan los otros tipos de pérdida de calor ya que al ser una construcción más tecnificada, la estructura y albañilería cuenta con las juntas selladas, puertas herméticas y posee materiales de aislamiento térmico, evitando fugas de calor al exterior.

Bajo ese contexto, se obtuvo un valor para la HDC de 0.077 ton CO₂ / ton ladrillo y en comparación con el promedio obtenido por SWISSCONTACT (2015) de emisiones de este tipo de horno con un valor de 170 g de CO₂ / kg de ladrillo producido empleando carbón, al hacer la conversión de nuestro dato obtenido daría 77 g de CO₂ / kg de ladrillo producido; se observó que el valor obtenido en la práctica es menor al dato bibliográfico por un 55% debido a los factores ya mencionados. Por otro lado, Nitin G. Kulkarni (2016) en su estudio Huella de Carbono de ladrillos sólidos de arcilla cocidos en abrazaderas de India, hizo referencia a los datos hallados por el Instituto de Materiales Sostenibles de Athena, Ottawa, Canadá, acerca del LCA de ladrillos de arcilla cocidos en los EE. UU Y Canadá encontrando un promedio de emisiones de

CO₂ en la fabricación de ladrillos en EE. UU de 235,25 g de CO₂ por kg de ladrillo producido para Hornos Túnel de gas natural. En tal caso dicho dato excede en un 67% al valor obtenido en la práctica. Esto se puede ver representado en Gráfica 8 a continuación.

Gráfica 8. Comparación de emisiones de CO₂/Kg de ladrillo en el Horno túnel



Fuente: Elaboración propia en base a datos de SWISSCONTACT y del IMSA

Adicional a esto, el Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera elaborado por el EELA determinó un 66% de eficiencia energética. Si bien la bibliografía de estudios realizados para las evaluaciones de la HDC de los Hornos túnel tienen diferentes criterios de evaluación donde se toman en cuenta diferentes tipos de ladrillos como unidad de referencia, combustibles (en su mayoría el carbón), periodos de cocción, etc., los valores de HDC obtenidos sirven como referencia para la comparación de la eficiencia del Horno Túnel de estudio con respecto a los diferentes Hornos Túnel en otras fábricas. Y se puede afirmar que la significativa diferencia entre los datos bibliográficos y los obtenidos, en su mayoría se debe al tipo combustible empleado, siendo el GLP de mayor rendimiento en comparación con el carbón. Como resultado de la comparación se puede tener un mayor alcance del éxito de la implementación de este Horno en cuanto a la disminución de GEI.

Finalmente, se pudo hacer la determinación de la eficiencia del Horno Túnel mediante el consumo del GLP con respecto a la cantidad de ladrillo obtenido y corresponde a un valor elevado, de mismo modo al tener en cuenta el bajo valor obtenido en la HDC.

4.3.3 Comparación de los resultados de la evaluación de impactos ambientales y huella de carbono de la tecnología inicial con la tecnología implementada

a. Análisis comparativo del Impacto Ambiental

El estudio comparativo de la valoración del Impacto Ambiental inicial y final basado en la metodología de las Matrices de Importancia de Vicente Conesa se realizó en la etapa de cocción de ladrillo con la tecnología convencional del Horno de Tiro Invertido con el aceite R500 y el Horno Túnel con GLP como matriz energética.

Por lo tanto, la Tabla 22 a continuación, representa la Matriz resumen de Importancia de Conesa en la etapa de cocción del ladrillo.

Tabla 22. Matriz resumen de Importancia Conesa Cocción

COMPONENTES Y FACTORES AMBIENTALES		ACTIVIDADES	Horno Tiro invertido	CALIFICACIÓN	Horno Túnel	CALIFICACIÓN
Físicos	Suelos	Residuos sólidos	-29	Moderado	-20	Leve
	Atmósfera	Emisiones gaseosas	-60	Severo	-24	Leve
		PM ₁₀ y PM _{2.5}	-60	Severo	-24	Leve
		Ruido	-33	Moderado	-23	Leve
	Energía	Energía eléctrica	-27	Moderado	-29	Moderado
		Combustible	-33	Moderado	-26	Moderado
Socioeconómicos	Economía	Generación de empleo	44	Moderado	44	Moderado
		Activación de la economía local	40	Moderado	40	Moderado
	Salud y Seguridad	Riesgos de accidentes	-27	Moderado	-22	Leve

Fuente: Elaboración propia

Leyenda

Impacto negativo				
Calificación	Leve	Moderado	Severo	Crítico
Rango	<25	$25 \geq <50$	$50 \geq <75$	≥ 75
Código de colores				

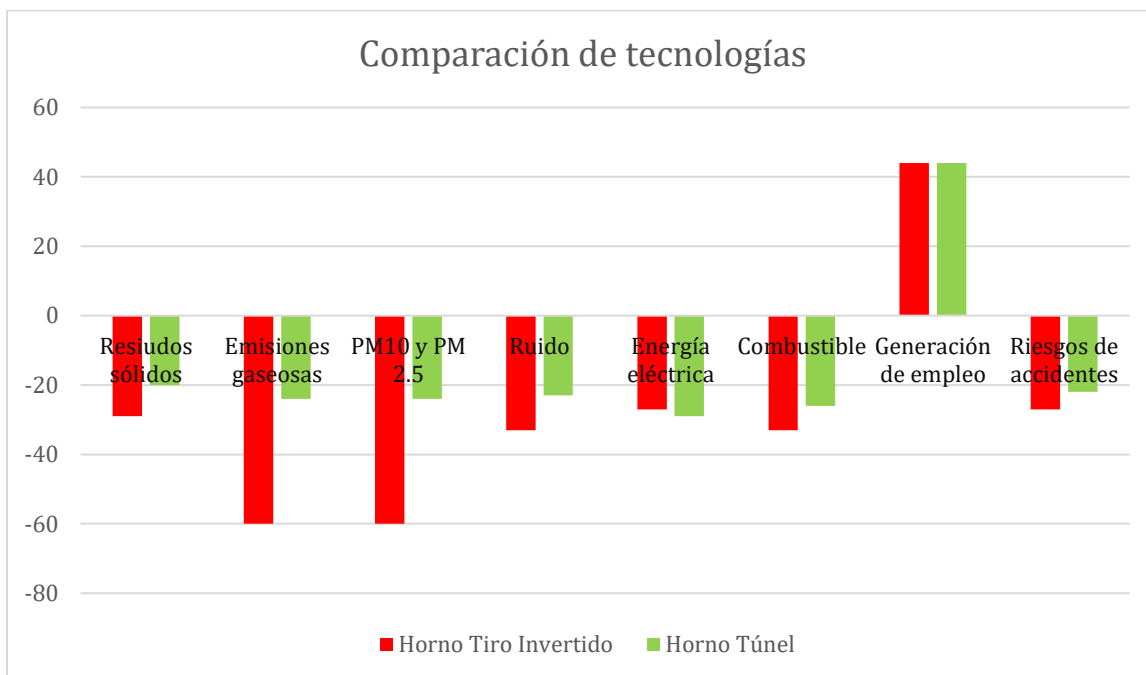
Impacto positivo				
Calificación	Ligero	Moderado	Bueno	Muy bueno
Rango	<25	$25 \geq <50$	$50 \geq <75$	≥ 75
Código de colores				

Fuente: Conesa, et al., (2010)

La tabla resumen de ambas tecnologías, demuestra que el impacto ambiental del Horno Túnel con respecto al de Tiro Invertido, ha disminuido significativamente en cuanto al impacto negativo a la atmósfera por la generación de emisiones gaseosas y material particulado pasando de carácter severo a leve. Seguidamente también se ve una disminución del impacto a la atmosfera por los ruidos generados pasando de impacto moderado a leve y reducción del consumo del combustible.

En cuanto al factor socioeconómico, el aspecto económico se mantiene igual para ambas tecnologías ya que demandan de mano de obra para la realización del proceso de cocción, sin embargo, el riesgo de accidentes disminuye de impacto moderado a leve en el caso del horno túnel.

Gráfica 9. Comparación de factores ambientales entre el Horno de Tiro Invertido y el Horno Túnel



Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 9 se representa la disminución del impacto ambiental que se encuentra en rojo del Horno de Tiro Invertido a más de la mitad de las emisiones gaseosas y material particulado que se encuentra en verde del Horno Túnel. Seguidamente, el otro factor en el que se ha reducido el impacto es en cuanto a la reducción del ruido y consumo de combustible.

Como ya se mencionó en la actividad productiva de los ladrillos, el impacto ambiental negativo se le atribuye a las emisiones gaseosas y material particulado generados en el proceso de cocción de ladrillos. Los contaminantes representativos en esta actividad son los CO, SO₂, NO_x, PM₁₀ Y PM_{2.5}. Sin embargo, los factores a que se les atribuye su mayor o menor impacto dependen de los procesos de combustión, el tipo de combustible y de la tecnología misma.

En cuanto al CO, el impacto negativo proveniente de este tipo de emisiones depende de la eficiencia del proceso de combustión de los combustibles dentro de los hornos.

San José (2001) acerca de la combustión y combustibles afirmó que para una combustión completa donde no se desprende CO, es necesario el equilibrio de un buen combustible, el control del comburente que es el oxígeno y la energía de activación la cual desencadena la reacción de la combustión. Asimismo, lo que indica Roa (2006) en su estudio (Metodología para la determinación de un Factor de Emisión de Material Particulado (FEPM) en Chircales de la Sabana de Bogotá) es que para una combustión eficiente se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Mezcla íntima combustible oxígeno
- Suministro de suficiente aire para quemar todo el combustible
- Una temperatura apta para iniciar la combustión (precalentamiento)
- El tiempo necesario para que la combustión sea completa
- La calidad del combustible

La tecnología del Horno de Tiro invertido no posee un sistema de control de la cantidad de oxígeno suministrado. Donde el aire ingresa al horno a través de las cámaras donde se encuentran los 6 quemadores alrededor del horno y por la puerta que está sellada manualmente con adobe por lo que las condiciones propician ya sea el defecto o exceso de aire. A diferencia del Horno Túnel donde el sistema de control de suministro de oxígeno se encuentra en solo en la zona donde hay combustión que es la de quema la cual en el centro del horno aislada de las otras dos zonas de precalentamiento y enfriamiento mediante compuertas.

La energía de activación en el Horno de Tiro Invertido se da mediante el prendido manual de los quemadores con ayuda de leña o un balón de Gas lo cual desprende humos en su encendido y en el caso de Horno Túnel se da mediante la eficiencia de los quemadores que inician la chispa eléctrica entre dos electrodos. El aceite R500 y la energía usada para encender sus quemadores carecen de eficiencia de combustión a diferencia del GLP.

En el Horno Túnel dado que los procesos de combustión solo se dan en la zona de cocción donde el ladrillo al ingresar ya se expone a temperaturas controladas para la

cocción alrededor de los 900°C, en cambio en el Horno de Tiro Invertido se generan emisiones a temperaturas no aptas desde su precalentamiento.

La disposición de las piezas de ladrillos en el interior del horno hace que sea más difícil la presencia de oxígeno, lo que resulta en una combustión incompleta y poco óptima, manejándose temperaturas que no alcanzan la intensidad para poder quemar el combustible en su totalidad. En el Horno de Tiro invertido los ladrillos se disponen manualmente apilados en torres acumuladas, en cambio en el Horno Túnel los ladrillos se disponen uniformemente sobre vagones que ingresan a través de rieles permitiendo el correcto flujo de aire. En cuanto al SO₂, su emisión depende de la cantidad de azufre contenido en el combustible.

El estudio del 2019 en Bangladesh acerca de la evaluación del proyecto del horno túnel Rimpel (2019), en la Tabla 24 determina que el contenido de azufre en combustibles densos como el aceite R500 varían entre 3.5 - 4.5 % de masa y en el caso del GLP, no contiene azufre. Asimismo, también afirma que las máximas emisiones de SO_x se obtienen al quemar combustibles densos como el R500 y que la combustión más limpia entre todos los combustibles se logra usando gas. Por lo tanto, en el caso del Horno Túnel por emplear GLP como suministro de energía, las emisiones generadas de SO₂ serán menores que las generadas en el Horno de Tiro Invertido de acuerdo con la composición más exacta de sus combustibles (Tabla 23).

Tabla 23. Emisiones de carbono, valor calorífico y contenido de sulfuro de acuerdo al combustible

Fuel	Emission of CO ₂	Calorific value		Sulphur content
	[tCO/MJ]	[MJ/kg]	[MJ/m ³]	[Mass-%]
Coal	98-100	28 – 32.5		1
Heavy fuel oil	78	40		3.5-4.5
Light fuel oil	74	42.6		0.5-1.0
Liquefied gas	65	45.5-46.3	93-124	0
Natural gas	56	32-45	31-41	0

Fuente: Rimpel, (2019)

Si bien los NOx emitidos dependen de la combustión con el aire del ambiente que contiene 78% de nitrógeno, la temperatura de la quema también es un factor del cual depende la cantidad de oxidación del nitrógeno. Como ya se mencionó que se da un control de oxígeno y temperatura de la zona de quema del Horno Túnel, también contribuye a la disminución de los NOx emitidos. Y en el caso del Horno de Tiro Invertido además de la ineficiencia del control de aire y temperatura, que generan el NOx proveniente de los procesos de combustión, también se originan cuando los humos generados se encuentran a altas temperaturas.

Por otro lado, la combustión incompleta es además un indicador de la generación de material particulado, se originan cenizas, hollín, polvos que se emiten fuera de la chimenea del Horno de Tiro Invertido suspendidas en el ambiente alrededor de la planta y se acumulan sobre las zonas cercanas, a diferencia del Horno Túnel donde a simple vista no se perciben partículas emitidas por la chimenea. Asimismo, el manejo de un buen control de temperatura al ser un horno de sistema continuo donde no se interrumpe el ciclo de quemado para iniciar un nuevo proceso del incremento del gradiente de temperatura al haber solo una zona que es la de cocción donde se dan los procesos de combustión, es decir que la combustión en esta zona siempre va a tener la misma temperatura y además no se generan procesos de combustión en la etapa de precalentamiento; se evita la generación de PM que normalmente se generan antes de conseguir la temperatura óptima para la cocción del ladrillo.

b. Análisis comparativo de la Evaluación de la huella de carbono

Con el fin de comprobar la efectividad de la implementación de un horno túnel y cambio de matriz energética en cuanto a la disminución de su huella de carbono, se evalúa la reducción del indicador ambiental de las evaluaciones ex ante y ex post y la eficiencia de la mejora tecnológica que trae consigo beneficios económicos, ambientales y sociales.

De acuerdo con los resultados encontrados se logra la comprobación de la mejora del indicador ambiental emisión específica de GEI por la producción de ladrillo

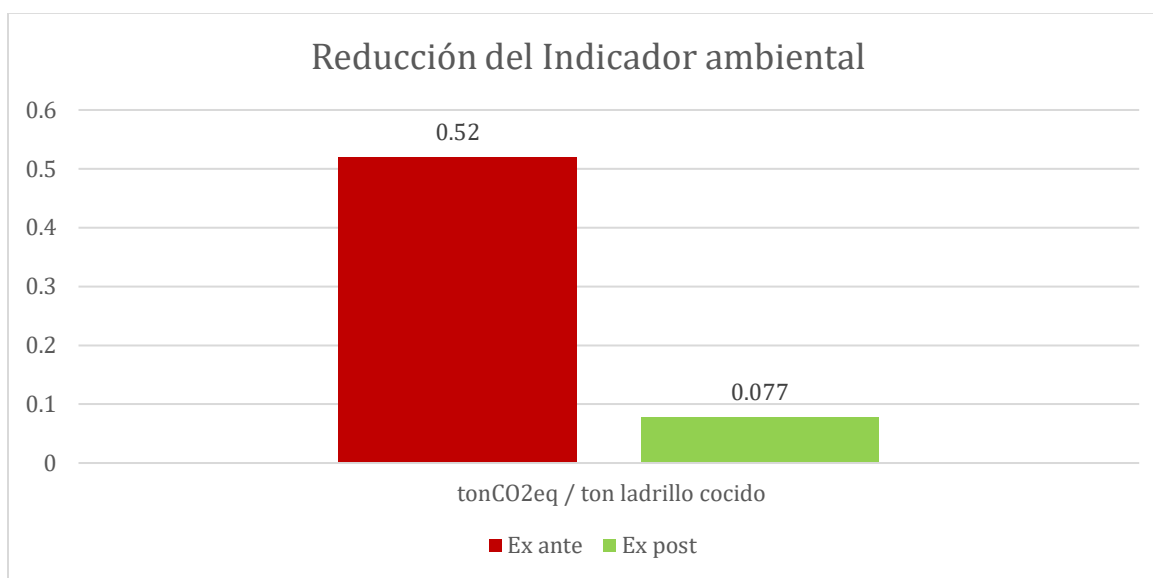
(tonCO₂eq/ton ladrillo cocido). En base a las mediciones de evaluación ex ante y ex post se obtuvo una disminución en el indicador correspondiente a 0.51 de tonCO₂eq / ladrillo cocido y 0.077 de tonCO₂eq / ladrillo cocido respectivamente, para lo que se obtuvo una reducción de las emisiones de GEI del 85%. Lo cual se encuentra representado en la Tabla 24 y Gráfica 10.

Tabla 24. Reducción del indicador ambiental

Unidad	Indicador ex ante	Indicador ex post	Reducción del indicador	Porcentaje de reducción
ton CO ₂ eq / ton ladrillo cocido	0.51	0.077	0.433	85%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 10. Reducción del Indicador Ambiental (HDC)



Fuente: Elaboración propia

Estudios realizados por el EELA (2017), mostraron que la implementación de tecnologías más eficientes, principalmente durante la cocción de ladrillos, puede resultar la reducción de emisiones contaminantes del 10 al 50 %, dependiendo del proceso, escala y combustible utilizado. En contraste con la reducción de las emisiones halladas con la implementación del horno túnel hasta un 85%, se infiere que los resultados fueron mejores a los vistos en otros estudios.

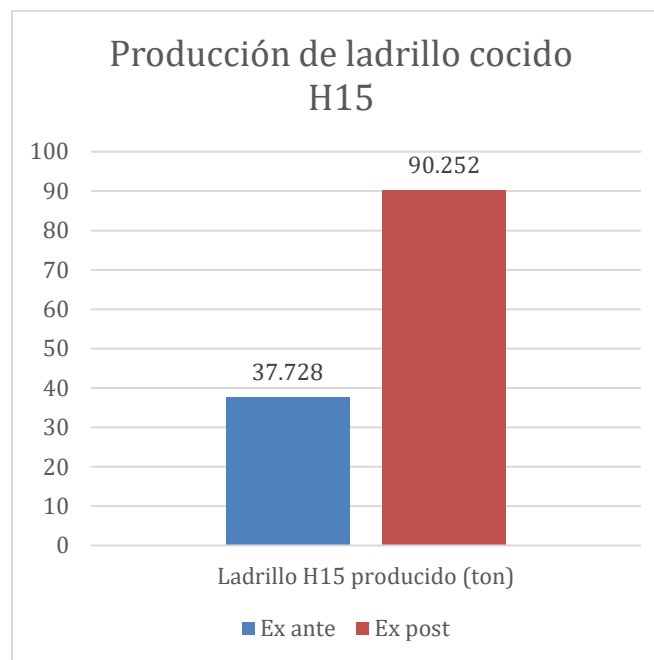
Asimismo, la implementación del Horno Túnel trajo consigo, además, la reducción del tiempo de producción, reducción de consumo de combustible (Tabla 25) y el aumento de más del doble de la capacidad de producción del horno por unidades de ladrillos cocidos (Gráfica 11).

Tabla 25. Consumo de combustible y producción de la evaluación Ex ante y Ex post

Evaluación	Periodo de medición	Ladrillos H15 producidos (ton)	Consumo combustible (gal)
Ex ante	36 h y 30 min	37.728	1782.9
Ex post	36 h y 20 min	90.252	1120

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 11. Producción de la evaluación Ex ante y Ex post



Fuente: Elaboración propia

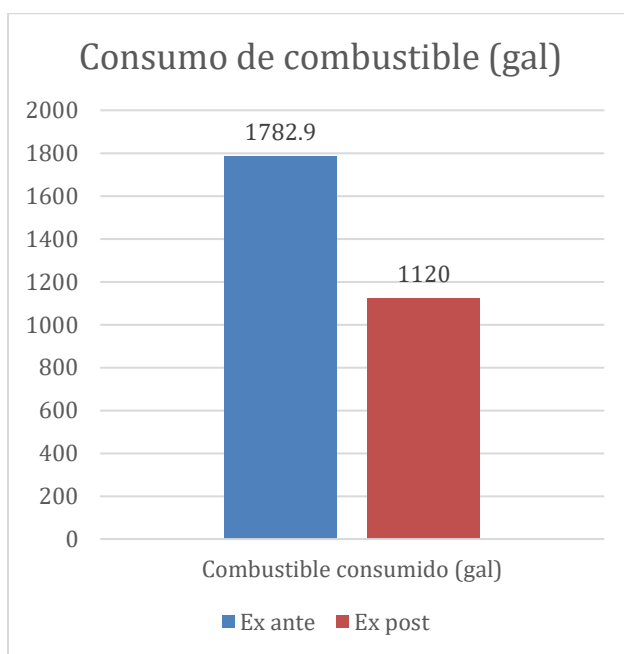
Como se mencionó tanto en las evaluaciones ex ante como ex post de las HDC, los factores determinantes para su evaluación son el combustible empleado (cantidad consumido, densidad, factor de emisión de CO₂ sobre la base del valor calorífico neto) como la actividad productiva (cantidad de ladrillo cocido). Por lo que, el análisis de

las características propias de los combustibles empleados con la actividad productiva en relación con la tecnología de los Hornos, son determinantes para que sean más eficientes.

En cuanto al combustible, es importante tener en cuenta no sólo la cantidad de consumo de estos, sino también su rendimiento, características propias y su desempeño, ya que, se ha visto que todos estos factores están relacionados directamente con la eficiencia de quema de los hornos en cuanto al mayor aprovechamiento del calor generado.

La gráfica 12 demuestra la relación del consumo de combustible del Aceite residual R500 con respecto al GLP, donde se nota una reducción de casi la mitad de consumo de combustible por tonelada de ladrillo en una jornada de quema.

Gráfica 12. Consumo de combustible de la evaluación Ex ante y Ex post



Fuente: Elaboración propia

Si bien la tecnología de los hornos en cuanto a la eficiencia de la combustión del R500 son irrelevantes respecto a la cuantificación de las emisiones obtenidas, lo cual se

mencionó anteriormente y está establecido por el método de las Directrices del IPCC; su importancia radica en la cantidad de combustible empleado para la jornada de quema y la actividad productiva en cuanto a la cantidad de producto final obtenido.

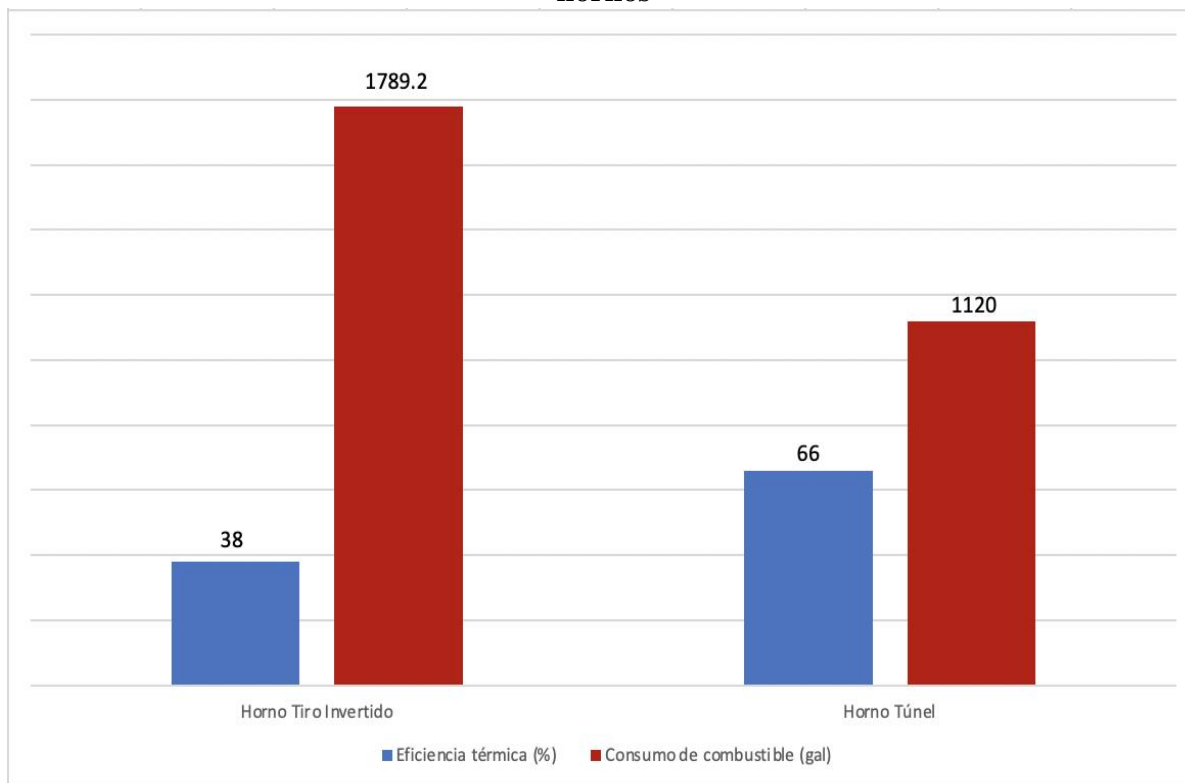
Para lograr la eficiencia energética de los hornos se debe tomar en cuenta la energía brindada por el combustible que genere el calor necesario para lograr diferentes reacciones evitando pérdidas de calor innecesarias. Y por lo tanto al garantizar la mayor eficiencia equivale al menor uso de combustible. Como encontró Guerrero (2017) en su investigación, que la importancia de una buena combustión y completa del combustible radica al ser una parte esencial del balance de materia de intercambio de calor, como fuente externa de entrada. Siendo esta necesaria para calentar la carga, evaporar la humedad, proporcionar el calor necesario para las reacciones endotérmicas, tales como deshidroxilación caolinita y la síntesis del material cerámico, así como para estimar la pérdida de energía en las paredes del horno. Esto se encuentra representado en la Tabla 26, donde la comparación de ambos hornos indica que, a mayor eficiencia energética, menor es el consumo de combustible.

Tabla 26. Comparación de la Eficiencia Energética y consumo de combustibles de ambos hornos

Tecnología	Eficiencia energética (%)	Consumo de combustible (gal)
Horno Tiro Invertido	38	1782.9
Horno Túnel	66	1120

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 13. Comparación de la Eficiencia Energética y consumo de combustibles de ambos hornos



Fuente: Elaboración propia

En ambos casos (Gráfica 13 y Tabla 26) se ve la relación entre la eficiencia y el consumo de combustible, a mayor eficiencia menor es el consumo de combustible. La disminución del consumo del GLP empleado en el Horno Túnel con respecto a la tecnología convencional se debe al sistema tecnológico de este horno en cuanto al control de los sistemas de alimentación de combustible, curvas de temperatura, quemadores y al reaprovechamiento del calor obtenido en la etapa de quemado tanto en las etapas de precalentamiento, enfriamiento y llevado al proceso de secado.

Por otro lado, el desempeño del combustible es otro factor relevante para lograr una quema óptima y poder optimizar el calor de la manera más eficiente posible. La combustión completa del combustible conlleva a una quema homogénea de los ladrillos, lo cual no sólo contribuye a la mejora de la calidad del producto sino también

a la disminución de gases tóxicos como el CO disminuyendo el impacto a la atmósfera por emisiones.

En el Horno Túnel, la combustión completa se da con los menores excesos de aire posibles, ya que en cuanto mayor sea el exceso de aire menor será el aprovechamiento del calor. Una parte del calor de la combustión es empleada para calentar los humos y finalmente éstos contribuyen a aumentar el exceso de aire al realizarse la combustión. Como San José (2001) en su investigación plantea que la combustión completa es ideal para aprovechar el mayor calor posible en cuanto se demande la mínima cantidad de aire necesario para llevar a cabo la oxidación completa de los componentes del combustible. Tal caso se da tanto en el encendido como en la operación del Horno de Tiro Invertido ya que se generan humos innecesarios. Por lo tanto, el diseño del Horno Túnel permite que se dé una combustión completa lo cual se consigue mediante sistemas de alimentación y líneas de combustible, quemadores y chimeneas controladas electrónicamente. Asimismo, San José (2001) afirma también que para obtener una correcta combustión debe lograrse una buena mezcla del combustible con el aire; en este sentido los combustibles gaseosos presentan mayor facilidad de mezcla que los líquidos y estos a su vez más que los sólidos; por este motivo pueden obtenerse menores excesos de aire con los combustibles gaseosos.

Tal es el caso de ambos combustibles, y por lo tanto no sólo el sistema tecnológico más avanzado del Horno Túnel propicia una mejor combustión que el Horno de Tiro Invertido, sino que también las propiedades físicas del GLP al ser de carácter más líquido tienen un desempeño mejor que el Aceite residual R500.

En cuanto a las características propias de los combustibles, las Directrices del IPCC 2006 afirman que la cantidad de carbono por unidad de energía encontrado en el combustible suele ser menor para los productos ligeros refinados, como la gasolina, que para los productos más pesados como el petróleo residual. Por lo tanto, el contenido de carbono del R500 al oxidarse va a emitir mayor CO₂ que el GLP dado que el factor de emisión de CO₂ en este tipo de combustible es el mayor de todos los combustibles, que es 73300kg/TJ, en contraste con 63100kg/TJ del GLP. Y por lo tanto

su valor tan alto contribuiría también con el incremento de la HDC. Asimismo, la emisión de gases a la atmósfera por los procesos de combustión del R500 serán más tóxicos que los del GLP, lo cual se ve reflejado en el INC Índice de nocividad de combustibles, ocupando el último lugar en la tabla con un valor de 36 a diferencia del GLP que ocupa el segundo lugar con un valor de 2.3. Los cuales se pueden ver en el anexo 9. Por otro lado, el propano y butano componentes que conforman el GLP, propician una combustión eficiente limpia por lo tanto no produce humo ni hollín, y es de alto rendimiento energético ya que es uno de los combustibles con mayor valor calorífico. Es decir que genera mayor cantidad de calor liberado en la combustión completa en el aire por unidad de masa del GLP. Por lo tanto, producen mayor calor por menos combustión de energía. Propanogas de Madrid, afirma que el valor calorífico del butano y del propano es el más alto si se compara con el de otras energías, como el gas natural o el gasóleo. Por lo tanto, se tiene al propano como un componente de mayor valor calorífico con respecto a otras energías alcanzando 12.86 kWh de calor por cada kg quemado.

Es allí donde se debe tomar en cuenta el rendimiento de la combustión ya que el calor que puede obtenerse en una combustión es el correspondiente al valor calorífico del combustible, por lo tanto, este rendimiento será mayor en cuanto mayor sea el valor calorífico del combustible. San José (2001) afirma que, al realizar la combustión, una parte del calor producido se pierde, asociado a los productos de la combustión; ya sea a pérdida por inquemados, es decir que el valor calorífico de los productos de la combustión no ha sido totalmente oxidado o pérdidas por el calor de los humos que escapan. En tal caso, el GLP tendrá mayor cantidad de calor liberado por la combustión total de una unidad de su volumen o masa con un valor de 47.3 TJ/1000 ton con respecto al R500 con 40.19 TJ/1000 ton.

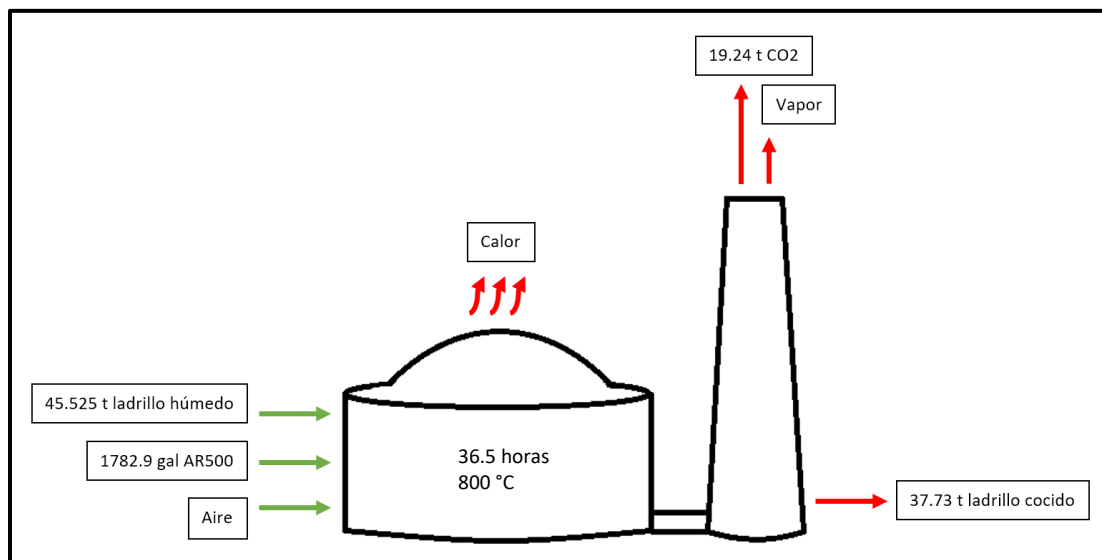
La obtención del mayor rendimiento del combustible para la eficiencia de un horno de cocción de ladrillos se basa en el ahorro de energía en cuanto al funcionamiento y operación del horno optimizando de la manera más eficiente posible el calor obtenido del proceso de combustión; lo cual se logra al conseguir una combustión completa con

el menor exceso de aire posible evitando las pérdidas innecesarias de calor. Y lograr una eficiencia energética no sólo con un horno que propicie dicha combustión, sino que también utilice un combustible más limpio como es el caso del Horno Túnel y el GLP.

El otro aspecto determinante en la obtención de la HDC es la actividad productiva, es decir la cantidad de producto final obtenido, en este caso, la cantidad de ladrillo hueco H15 obtenido. La mayor cantidad de producto final obtenido del Horno Túnel con respecto al Horno de Tiro Invertido se da en cuanto a la diferencia de la operación técnica de ambas tecnologías.

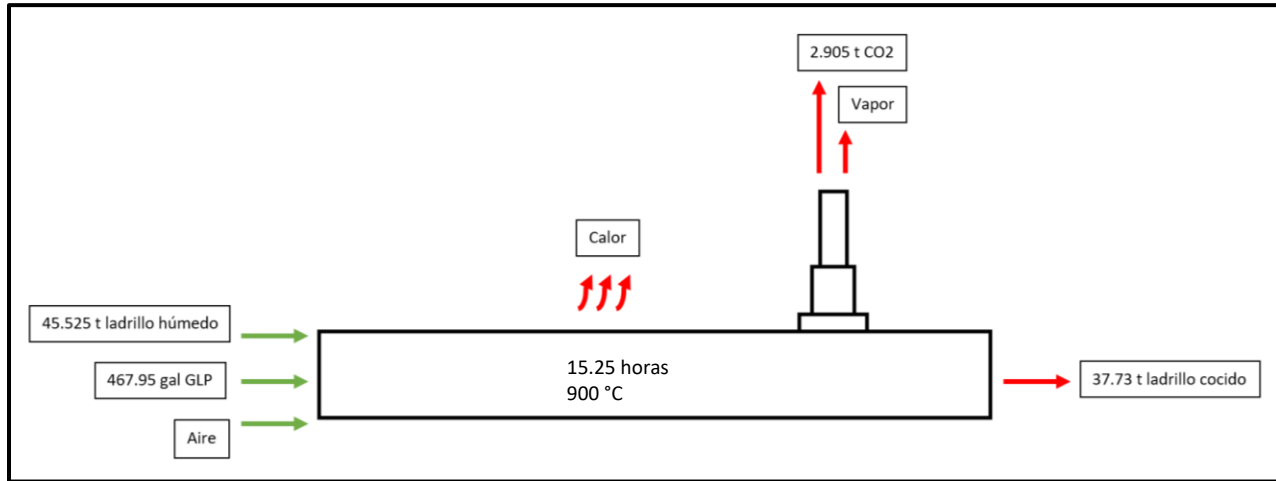
De acuerdo con el balance de materia y energía de ambas tecnologías (Figura 19 y Figura 20), se puede corroborar que, para producir la misma cantidad de ladrillos, el Horno Túnel requiere de menos de la mitad del tiempo que el Horno de Tiro Invertido, asimismo, requiere de menos combustible. Por consecuencia, existe una reducción en las emisiones de CO₂ al ambiente. Los cálculos se encuentran en el Anexo X.

Figura 19. Balance de materia y energía del Horno de Tiro Invertido



Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Balance de materia y energía del Horno Túnel



Fuente: Elaboración propia

El Horno Túnel quema mayor cantidad de ladrillos en menor tiempo que el Horno de Tiro invertido debido al sistema continuo que permite la alimentación de ladrillo seco permanentemente y también a la forma en la que el calor se manifiesta en cuanto a su optimización y reaprovechamiento en las etapas del proceso de cocción. Lo se traduce en el ahorro de tiempo en las etapas de precalentamiento y enfriamiento ya que en el Horno Túnel se reaprovecha el calor proveniente de la zona de cocción en contracorriente hacia la zona de precalentamiento lo que no necesita energía adicional para el funcionamiento de esta etapa y el reaprovechamiento también del calor en la zona de enfriamiento ya que se extrae el calor residual hacia el proceso de secado, y al ser de sistema continuo no se requiere energía adicional para su encendido o apagado ya que opera de manera permanente. Caso contrario que el Horno de Tiro invertido ya que demanda horas extras para que se lleve a cabo su encendido y precalentamiento gradual hasta obtener los 800 °C donde se inicia recién la cocción como tal que toma 4 horas del total de las 36 h y 30 m de todo el proceso de quema y además el enfriamiento del horno a su vez toma más de un día para poder iniciar su descarga; esto sumado a las fugas y pérdidas de calor hacen que el aprovechamiento de la energía generada no sea totalmente aprovechada y por lo tanto tome más tiempo para cumplir con el quemado del ladrillo.

La mayor demanda de energía y por lo tanto el incremento de la HDC está relacionada también al tipo de horno, debido a su recuperación de calor, los hornos continuos como los hornos de túnel son más eficientes energéticamente (Weyant et al., 2016). Lo cual se ve reflejado en los datos obtenidos en comparación con el horno intermitente de Tiro invertido.

Finalmente, la eficiencia energética y por lo tanto la reducción de la HDC de un horno se basa en la optimización del calor obtenido. Las ventajas del horno túnel, radican en la posibilidad de recuperación de calor, ya sea en la corriente de enfriamiento o en los gases de combustión, flexibilidad en el tipo de combustible, mejor control de temperatura y curva de cocción, y mayor capacidad de producción (Manrique et al., 2018). Aspectos que hacen de este horno, más eficiente en la quema del ladrillo en comparación al Horno de Tiro invertido.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. En el diagnóstico inicial de la producción de ladrillos, mediante la evaluación de los impactos ambientales se pudo determinar que la etapa en la que más contaminación se producía era la etapa de cocción, y el componente ambiental más afectado era la atmósfera ya que, la tecnología utilizada (Horno de Tiro Invertido) es poco eficiente debido a sus procesos y tipo de combustible usado (Aceite Residual R500); arrojando valores de -60 (negativo severo) en el apartado de emisiones gaseosas y de PM₁₀ y PM_{2.5}. En la evaluación de la huella de carbono se obtuvo 0.51 ton CO₂eq por ton de ladrillo cocido, donde tonCO₂eq, se refiere a la cantidad de emisión específica de GEI por la producción del ladrillo cocido, que sería el indicador ambiental.
2. Mediante la evaluación de criterios ambientales, productivos y económicos, de acuerdo con la metodología Scoring, pudimos determinar que la tecnología limpia óptima para implementar es el “Horno Túnel” al obtener 171 puntos, superando a las demás alternativas y a la tecnología inicial por 68 puntos.
3. Finalmente, al evaluar la tecnología limpia implementada (Horno Túnel), mediante la evaluación de los impactos ambientales y de la huella de carbono como indicador de GEI. Se corroboró la mejora en términos ambientales, ya que, hubo una reducción de los impactos negativos de las emisiones atmosféricas, pasando de ser severos con -60 puntos a ser leves, con -24 puntos. Y en cuanto a la evaluación de la huella de carbono, la tecnología limpia dio como resultado 0.077 tonCO₂eq/ton ladrillo cocido, que, comparado con el resultado inicial que fue 0.51 tonCO₂eq/ton ladrillo cocido, dio una reducción del 85% de emisiones de GEI, evidenciando una gran mejora en el desempeño de la tecnología en la etapa de cocción de ladrillos.

Recomendaciones

- Desarrollar un inventario de factores de emisión tomando en cuenta los datos específicos de las características propias de los combustibles empleados en el Perú como lo requiere el método de nivel 2 de la metodología de las Directrices del IPCC.
- Realizar un análisis de costo-beneficio para ayudar una toma de decisión más acertada a la hora de escoger una tecnología nueva a implementar, ya que, suelen existir costos ocultos que no son considerados al momento de realizar la inversión.
- Considerar el Análisis de Ciclo de Vida como metodología alternativa para valorar los impactos ambientales de la producción del ladrillo.
- Hacer futuras investigaciones que incluyan monitoreos para determinar el estado de la calidad del aire en ambas etapas.

REFERENCIAS

- AirVisual, I. (2018). *Reporte Mundial de Calidad del Aire*. Greenpeace, Jakarta. Obtenido de: <https://www.greenpeace.org/international/press-release/21193/latest-air-pollution-data-ranks-worlds-cities-worst-to-best/?fbclid=IwAR2bLaI-wDETqu5EvQXnuDt0i2Hvo2ZtxCkcoUX7tUqW9qHHeJiVtTFFRTI>
- Angüisaca, R., Reinoso, F. (2012). *Diseño de un horno-túnel para planta procesadora de arcilla Bella Azhuquita*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador
- Arango, A., Rodriguez, H. (2017). *Análisis de las emisiones de contaminantes asociados a la fabricación de ladrillos y propuesta de reconversión tecnológica Nemocón – Colombia*. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José De Caldas
- Cabrera Zúñiga, A. (2019). *Análisis de las emisiones ambientales y de la eficiencia energética de los hornos de las ladrilleras de Cuenca. Propuesta de límites referenciales de emisiones ambientales*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Carranza Palomares, M. V. (2016). *Próximos pasos para el Sector de Producción de Ladrillos en el Perú*. Ministerio de la Producción, Lima. Obtenido de: <http://www.redladrilleras.net/assets/files/7d8c6ef7ed1eed498f9071ba7c6f47d8.pdf>
- Casado Piñeiro, M. (2010). *Elaboración de límites máximos permisibles de emisiones para la industria ladrillera*. MINAM. Lima: Programa Regional de Aire Limpio. Obtenido de: https://docgo.net/view-doc.html?utm_source=lmeps-ladrilleras
- Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas. (2017). *Estudio para desarrollar un modelo de negocios piloto en ladrilleras artesanales, para reducir emisiones de Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC) y Gases de Efecto Invernadero (GEI) y mejorar la calidad de vida de los actores clave*. México D.C.: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
- Chirinos, Y., Foliquita, A., Infantes, C., Sánchez, M. (2015). *Problema Ambiental Producido Por Las Ladrilleras Informales En La Provincia De Arequipa*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín

CIATEC. (2018). *Estudio para desarrollar un modelo de negocios piloto en ladrilleras artesanales, para reducir emisiones de Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC) y Gases de Efecto Invernadero (GEI) y mejorar la calidad de vida de los actores clave*. Obtenido de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/493391/Ladrilleras_versi_n_final-2019.pdf

Coalición Clima y Aire Limpio. (2017). *Coalición Clima y Aire Limpio canaliza esfuerzos en la producción de ladrillos*. SWISSCONTACT. Latinoamérica: Red de ladrilleras. Obtenido de: <https://www.redladrilleras.net/coalicion-clima-aire-limpio-canaliza-esfuerzos-la-produccion-ladrillos/>

Cubas, W. (2014). *Impacto Ambiental de las Ladrilleras Ubicadas En Santa Bárbara- Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca

Devia, F., Suárez, C. (2016). *Evaluación de la Huella de Carbono en la Producción de Bloque de Arcilla en Ladrillera “Los Cristales”*. Bogotá: Universidad Libre de Colombia

Diez de Castro, E. (2003). *Economía y Organización de Empresas (2º Bachillerato)*. España: ANAYA

Echabautez, P. (2016). *Las industrias ladrilleras y su impacto socio ambiental en la localidad de Nieveria-Huachipa*. Lima: Universidad César Vallejo

EELA. (2015). *Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera*. Programa de Eficiencia Energética en las ladrilleras de América Latina. Obtenido de: <http://www.redladrilleras.net/assets/files/cdabe1e322431b29ff8f1cdd3b160e1a.pdf>

EELA-Bolivia. (2013). *Cartilla de producción más limpia para ladrilleras artesanales*. Obtenido de: http://www.redladrilleras.net/apps/manual_ccac/pdf/es/Cartilla-Buenas-Praticas-en-Ladrilleras-Artesanales-Bolivia.pdf

Enciso, L., Pacheco, D., Rivera D., Guerrero, M. (2014). *Análisis de factores de riesgo en trabajadores de ladrilleras de Ubaté*. Bogotá: IIEC, Vol. 3, pág. 5-10.

Espíndola, C., Valderrama, J. (2018) *Huella de Carbono, cambio climático, gestión sustentable y eficiencia energética*. Chile. Editorial Universidad de La Serena. Obtenido de:

<https://editorial.userena.cl/wp-content/uploads/2019/08/huella-de-carbono-completo-01-08-2020.pdf>

Espíndola, C., Valderrama, J. (2012) *Huella de Carbono Parte II: La visión de las empresas, los cuestionamientos y el futuro*. La Serena: sCielo

Febres Herrera, T. (2017). *Alternativas de solución a la problemática ambiental producida por las ladrilleras artesanales en Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. Obtenido de: [repositorio.unsa.edu.pe › bitstream › handle › UNSA › IIMfehet](https://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/IIMfehet)

Fernández, C. (2016). *Análisis económico de la implementación de tecnologías alternativas en la producción de ladrillo para la contribución en la mitigación del impacto ambiental del factor aire: caso productores ladrilleros Sacaba-Cochabamba (2006 – 2016)*. Universidad Mayor de San Andres, La Paz

García San José, R. (2001). *Combustión y combustibles*. Obtenido de: <https://es.scribd.com/document/313714495/Combustion-y-Combustibles>

Garg A., Kazunari K., Pulles T. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Obtenido de: https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf

Greentech Knowledge Solutions (2014). Factsheets about brick kilns in South and South-East Asia. Paris: CCAI

Greentech Knowledge Solutions (2015). Ficha técnica de tecnologías de horno de ladrillo/teja en América Latina. Paris: CCAIC

Guerrero J. (2020). *Así ha cambiado la industria de la construcción en el mundo gracias al e-commerce B2B*. BlackSip. Obtenido de: <https://content.blacksip.com/industria-de-la-construccion-en-el-mundo-ecommerce-b2b>

Halanocca Y., Huaman, R. (2015). *Impacto ambiental generado por el sector ladrillero en el distrito de San Jeronimo – Cusco*. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Hashemi, A., Cruickshank, H. (2015). *Embodied Energy of Fired Bricks: The Case of Uganda and Tanzania*. ResearchGate

Henriques, M. (2015). *Hornos eficientes en la industria ladrillera en Brasil*. Bogotá: Instituto Nacional de Tecnología

Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México. Interamericana Editores. Obtenido de: https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf

Hossain M. (2019). *Energy efficient brick kilns for sustainable environment*. Dhaka: BRAC University

INEI. (2018). *Anuario de Estadísticas Ambientales*. Instituto Nacional de Estadísticas Ambientales. Perú: MINEM. Obtenido de: https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1637/libro.pdf

INEI. (2019). *Informe técnico de la producción nacional*. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima. Obtenido de: <https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/produccionnoviembre.pdf>

Jiménez, C. (2017). *Perfil técnico ambiental para ladrillos de cerámica en el marco de las compras sostenibles*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana

Lalchandani, D., Maithel S. (2013). *Towards cleaner brick kilns in india*. Nueva Delhi: Greentech Knowledge Solutions Pvt. Ltd

Machicao, N. (2018). *Plan de gestión para el mejoramiento de la calidad del aire en la Ciudad de Arequipa*. Arequipa: UNSA

Maithel, S., Heierli, U. (2014). *Brick by Brick: The Herculean Task of Cleaning Up the Asian Brick Industry*. ResearchGate

Manrique R., Vasquez D., Vallejo G., Chejne F., Amell A., Herrera B. (2018). *Analysis of barriers to the implementation of energy efficiency actions in the production of ceramics in Colombia*. Energy 575-584

MINAM. (2010). *Resolución Ministerial N° 133-2010-MINAM*. Obtenido de: http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/rm_133-2010-minam.pdf

MINAM. (2014). *Informe Nacional de la Calidad del Aire*. Obtenido de: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>

MINEM. (2017). *Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del sector Energía del año 2014 – Combustión estacionaria y emisiones fugitivas*. Obtenido de: https://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/09/RAGEI_COMBUSTION-ESTACIONARIA_VERSION-FINAL.pdf

Moros, A., Santa Coloma, 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: Pontificia Universidad Javeriana

OCDE, & CEPAL. (2016). *Evaluaciones del desempeño ambiental*. Naciones Unidas, Lima. Obtenido de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42527/1/S1600240_es.pdf

ONG Sugamuxi. (2013). *Proyectos Sugamuxi: Implementación de tecnologías limpias diversificación e innovación de productos de alfarería y otros*. Boyaca: Asociación Industrial y Tecnológica de Arcillas del Sugamuxi ONG

Organización Meteorológica Mundial. (2019). *La concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanza un nuevo récord*. Ginebra: Boletín OMM.

Organización Panamericana de Salud. (2019). *Cuáles son las 10 principales amenazas a la salud en 2019*. Lima: Representación OPS/OMS en Perú

Páez Claro, J. (2020). *Tipos de contaminantes atmosféricos asociados a la fabricación de ladrillos artesanales en Colombia*. Cúcuta Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.

Pentland, W. (2010). *The top cleantech countries*. Forbes. Obtenido de: <https://www.forbes.com/2010/12/02/china-germany-japan-america-business-energy-ecotech-clean-tech-patents.html#4dff859336c3>

Pinto, D. (2016). *Diseño de un horno a gas para fábrica de ladrillo en “Alpacoma Achocalla”*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés

PNUMA. (2013). *Tecnologías limpias*. Obtenido de: http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/tecnologias_limpias.pdf

Pokhrel, R. (2014). *Integrated Environment Impact Assessment of Brick Kiln using Environmental Performance Scores*. Asian Journal of Atmospheric Environment.

Pozo, L. (2018). *Identificación de impactos ambientales significativos en la industria ladrillera utilizando un modelo de simulación dinámica*. Lambayeque: Tzhoeco

Rajarithnam, U., Athalye, V., Ragavan S., Maithel S., Lalchandani D., Kumar S., Baum, E., Weyant, Ch., Bond T. (2014). *Assessment of air pollutant emissions from brick kilns*. Elsevier: Atmospheric Environment pág. 549-553

Refaey, H., Abdel-Aziz, A., Salem, M., Abdelrahman H., Al-Dosoky, M. (2018). *Thermal performance augmentation in the cooling zone of brick tunnel kiln with two types of guide vanes*. Elsevier: International Journal of Thermal Sciences pág. 264-277

Rimpel, E. (2019). *Tunnel kiln: Technology Overview and Project Assessment Guideline*. Essen: Institut für Ziegelforschung

Riveros, J. (2011). *Estudio De Parámetros para la Instalación de un Horno Rebervero a Gas Natural para Fusión de Chatarras de Aluminio en el Taller de Metalurgia del ISTP Andrés Avelino Cáceres Dorregaray*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro de Perú

Roa, M., Rojas, N. (2006) *Metodología para la determinación de un Factor de Emisión de Material Particulado (FEPM) en Chircales de la Sabana de Bogotá*. Universidad de los Andes Bogotá Colombia.

Rocha Lon, L., Cuevas Zuñiga, I. Y., & Soto Flores, M. d. (2015). *Tecnologías limpias para la sustentabilidad: caso de dos empresas alimenticias*. Red Internacional de Investigadores en Competitividad. Obtenido de: <https://www.riico.net/index.php/riico/article/view/1277/945>

Roche, H., Vejo, C. (2005). *Métodos Cuantitativos Aplicados a la Administración. Análisis multicriterio para la toma de decisiones*.

Rodríguez, D. (2018). *Propuesta de transformación del proceso de producción de ladrillo para la población alfarera artesanal del corregimiento de Jongovito, Municipio de Pasto*. San Juan de Pasto: Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Salamanca, J. (2017). *Diagnóstico sobre la incidencia de la actividad ladrillera en el territorio, a partir de sus impactos ambientales en Sogamoso*. Bogotá D.C.: Universidad De Ciencias Aplicadas Y Ambientales.

Salazar Quisocala, J. E. (2015). *Procesos constructivos convencionales en edificaciones y sus impactos ambientales con relación a una producción limpia y sostenible en la Una Puno, periodo 2013-2014*. Universidad Nacional del Altiplano Puno, Puno. Obtenido de: <https://www.scribd.com/document/375557997/Jhon-Edyson-Salazar-Quisocala>

Sanchez Carpio, R. A. (2012). *Propuesta de aplicación de tecnologías limpias para el reuso del agua residual industrial en una empresa de fabricación de vidrios de seguridad*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima. Obtenido de: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/577241/SANCHEZ_CR.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Sánchez, M., Zapata, L. (2013). *Impacto ambiental y gestión del riesgo de ladrilleras en la vereda Los Gómez de Itagüí*. Antioquía: Revista científica de la Facultad de Ingeniería

Sandoval Alvarado, L. (2006). *Manual de Tecnologías Limpias en PyMEs del Sector Residuos Sólidos*. Obtenido de: <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128192419.pdf>

Sandoval Sulca, J. L. (2014). *Aplicación de tecnologías limpias para la fabricación de envases de vidrio en el Perú*. Universidad Nacional del Callao, Callao. Obtenido de: http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/406/JorgeLuis_Tesis_titulo profesional_2014.pdf?sequence=3&isAllowed=y

SHAKTI Sustainable Energy Foundation. (2012). *Brick Kilns Performance Assessment - Monitoring of brick kilns & strategies for cleaner brick production in India*. Dehli: Greentech Knowledge Solutions

SEIA. (2019). *Guía para la Identificación y caracterización de impactos ambientales*. Lima: MINAM

Solgi, E., Mohammad, S., Hussein M., Ahmadi, A., Gitinavard, H. (2019). *A hybrid hierarchical soft computing approach for the technology selection problem in brick industry considering environmental competencies: A case study*. Elsevier: Journal of Environmental Management

Sotalin, D. (2018). *Estudio de la influencia de los parámetros operativos sobre las emisiones de un horno para materiales cerámicos*. Quito: Escuela Politécnica Nacional

Susanibar, D. (2019). *Propuesta para la Mitigación del Nivel De Monóxido de Carbono en la Producción de Ladrillos de Arcilla*. Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal

SWISSCONTACT. (2015). *Brick Production Initiative: Technology Training Nodes in Latin America and Training Manuals for Asia and Latin America*. Paris: Climate and Clean Air Coalition

Vásquez, H., Palacios, J., Olortegui, T., Córdor, J. *Análisis de Cambio de Combustible en Calderas a Gas Natural*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Yüksek, I., Karaman, S., Tahtalı, G. (2020). *The evaluation of fired clay brick production in terms of energy efficiency: a case study in Turkey*. Springer Nature: Energy Efficiency

Zolezzi, A. (2017). *Salud y medio ambiente en el Perú actual*. Lima: Colegio Médico del Perú. Obtenido de: <https://amp.cmp.org.pe/index.php/AMP/article/view/313>

ANEXOS

ANEXO II. EVALUACIÓN EX ANTE

Para el cálculo de la metodología del IPCC para hallar la HDC, primero, se realizaron mediciones para obtener datos sobre el volumen del combustible consumido y la cantidad de ladrillo H15 producido, y segundo, se obtuvieron los datos necesarios, resolviendo ecuaciones del método del IPCC, que consideran los datos de las mediciones mencionadas, para poder realizar la ecuación para hallar la HDC.

1) MEDICIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Los datos sobre la cantidad de consumo de combustible R500 utilizado, se realizaron a través de mediciones en un periodo de 36 horas con 30 minutos; donde se involucran todas las actividades que se desarrollan en el proceso de cocción desde la carga – encendido – cocción y enfriamiento, tomando como unidad de referencia al ladrillo Hueco 15.

Esto consistió en una evaluación teniendo en cuenta solamente el Horno N° 1, en el cual resultaron 37.728 toneladas de ladrillos producidos (Tipo H-15) en una jornada de trabajo de 36 horas con 30 minutos, en las que se consumió 1,782.8 galones de petróleo Residual R-500.

En el periodo correspondiente a la jornada de trabajo de la cocción de ladrillos en el Horno N° 1, se determinó el consumo del combustible aceite R500 empleando el método de medición por nivel dentro del tanque, utilizando una varilla graduada en centímetros introducida de manera perpendicular para tomar las lecturas del nivel de combustible en los 2 tanques de almacenamiento.

Luego, el nivel alcanzado en la varilla fue medido en centímetros y mediante una ecuación se obtuvo el volumen correspondiente para poder realizar los cálculos del consumo de combustible.

Las mediciones de nivel se realizaron desde el inicio hasta el final del periodo de cocción del ladrillo, para obtener la diferencia del volumen consumido, los cuales se pueden ver en las tablas 34, 35, 36 y 37.

Tabla 27. Resultados de medición del nivel de Aceite R500 medido en el tanque elevado N°1

Medición \ Datos	Hora	Altura del nivel de combustible (cm)	Volumen (m3)	Volumen (gal)
Inicial	11:00 h	133.7	9.0937	2402.3
Final	23:30 h	96.5	5.6890	1502.9
Diferencia		37.2	3.4047	899.4

Fuente: Informe de medición realizado por CYNIDE S.A.C

Tabla 28. Resultados de medición del nivel de Aceite R500 medido en el tanque elevado N°2

Medición \ Datos	Hora	Altura del nivel de combustible (cm)	Volumen (m3)	Volumen (gal)
Inicial	11:00 h	126.9	8.1261	2146.7
Final	23:30 h	88.0	4.7822	1263.3
Diferencia		38.9	3.3493	883.4

Fuente: Informe de medición realizado por CYNIDE S.A.C

Tabla 29. Volumen total de combustible R500 consumido

Tanque elevado	Volumen (gal)
1	899.4
2	883.4
Total	1782.8

Fuente: Informe de medición realizado por CYNIDE S.A.C

Tabla 30. Tamaño de los tanques contenedores de Aceite R500

Nº tanques elevados	2
Forma de los tanques	Cilíndrica
Altura (m)	2
Ancho (m)	2.8

Radio (m)	1.4
-----------	-----

Fuente: Elaboración propia

DATOS PARA ESTIMAR EL VOLUMEN DEL COMBUSTIBLE R500 CONSUMIDO

TANQUE 1

- Medición inicial (1.337m)

$$volumen (m^3) = \pi \times r^2 \times h$$

$$volumen (m^3) = \pi \times 1.4^2 \times 1.337$$

$$volumen (m^3) = 9.0937$$

$$9.0937 m^3 \times \frac{264.172 gal}{1 m^3} = 2402.30 gal$$

- Medición final (0.965m)

$$volumen (m^3) = \pi \times r^2 \times h$$

$$volumen (m^3) = \pi \times 1.4^2 \times 0.965$$

$$volumen (m^3) = 5.6890$$

$$5.6890 \times \frac{264.172 gal}{1 m^3} = 1502.87 gal$$

- Combustible consumido

$$volumen (m^3) = volumen inicial - volumen final$$

$$volumen (m^3) = 9.0937 - 5.6890$$

$$volumen (m^3) = 3.4047$$

$$3.4047 \times \frac{264.172 \text{ gal}}{1 \text{ m}^3} = 899.43 \text{ gal}$$

TANQUE 2

- Medición inicial (1.269m)

$$\begin{aligned} \text{volumen (m}^3\text{)} &= \pi \times r^2 \times h \\ \text{volumen (m}^3\text{)} &= \pi \times 1.4^2 \times 1.269 \\ \text{volumen (m}^3\text{)} &= 8.1261 \end{aligned}$$

$$8.1261 \times \frac{264.172 \text{ gal}}{1 \text{ m}^3} = 2146.69 \text{ gal}$$

- Medición final (0.88m)

$$\begin{aligned} \text{volumen (m}^3\text{)} &= \pi \times r^2 \times h \\ \text{volumen (m}^3\text{)} &= \pi \times 1.4^2 \times 0.88 \\ \text{volumen (m}^3\text{)} &= 4.7822 \end{aligned}$$

$$4.7822 \times \frac{264.172 \text{ gal}}{1 \text{ m}^3} = 1263.32 \text{ gal}$$

- Combustible consumido

$$\begin{aligned} \text{volumen (m}^3\text{)} &= \text{volumen inicial} - \text{volumen final} \\ \text{volumen (m}^3\text{)} &= 8.1261 - 4.7822 \\ \text{volumen (m}^3\text{)} &= 3.3439 \end{aligned}$$

$$3.3439 \times \frac{264.172 \text{ gal}}{1 \text{ m}^3} = 883.37 \text{ gal}$$

TOTAL VOL. COMBUSTIBLE R500 CONSUMIDO

$$Total(\text{gal}) = \text{Comb. consumido tanque 1} + \text{Comb. consumido tanque 2}$$

$$Total(\text{gal}) = 899.43 + 883.37 = 1782.8 \text{ gal}$$

2) MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO CON EL LADRILLO DE REFERENCIA HUECO H15

Se realizaron mediciones de las dimensiones y peso de muestras de ladrillos al azar tanto al inicio de la quema como al final, es decir en estado seco y cocido. Y el promedio obtenido de estos datos, fue tomado como referencia para poder determinar la cantidad de toneladas obtenidas de ladrillo cocido al final del proceso de cocción. Se tomó en cuenta el peso de cada Ladrillo Hueco 15 cocido siendo 6.3 kg promedio con los datos tomados del peso de los ladrillos de muestra, dando un resultado final de 6000 ladrillos Hueco H15, es decir 37,728 ton. Estas mediciones se pueden ver en la Tabla 38.

Tabla 31. Mediciones de los ladrillos hueco H15

Estado	Nº muestra	Peso (kg)	A (cm)	B (cm)	C (cm)
Ingreso al horno ladrillo seco y crudo	1	7.625	30.5	29.4	15.2
	1	7.625	30.5	29.6	15.2
	2	7.550	30.7	29.5	15.1
	2	7.550	30.5	29.9	15.2
Salida del horno ladrillo cocido	1	6.275	30	29.2	14.5
	1	6.275	29	29.2	14.5
	2	6.300	29.7	29.1	14.5
	2	6.300	29.7	29.1	14.5
Promedio ladrillo cocido		6.2875			

Peso total de ladrillos por 6000 unidades obtenidas	37728
--	-------

Fuente: Elaboración propia

*Valores muestreados al azar.

En la siguiente tabla a manera de resumen, se detallan los datos de medición, correspondientes al proceso cocción de los ladrillos Tipo H-15 como indicador principal con el tipo de combustible empleado, aceite residual R500.

Tabla 32. Resultados de las mediciones de la evaluación del Horno de Tiro Invertido

Fecha	Periodo de medición	Horas trabajadas	Unidades de ladrillo H-15	Ladrillos cocidos H-15 (ton)	Consumo de combustible R500 (gal)
25 y 26/08	11:00 a.m.- 23:30 p.m.	36h y 30 min	6000	37.728	1782.9

Fuente: Elaboración propia en base a mediciones de la evaluación ex ante

3) DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DEL IPCC PARA HALLAR LA HUELLA DE CARBONO

Los datos previos necesarios para determinar la huella de carbono mediante la ecuación del indicador ambiental son la Energía liberada por el combustible R500 (TJ) y la Emisión de CO₂eq del combustible (ton CO₂eq).

- **Energía liberada por combustible (TJ)**

Dado que, para la ecuación de emisiones de GEI para obtener el indicador ambiental se requiere que la energía liberada por el combustible se encuentre en Terajoules (TJ), ya que,

el consumo de combustible debe estar expresado en unidades de energía y no de masa o volumen debido a que los factores de emisión (FE) de CO₂ obtenidos en la combustión de los combustibles fósiles son expresados en unidades de energía porque de esta forma el contenido de carbono de los combustibles es menos variable. Entonces, se utilizaron los valores caloríficos netos (VCN) a manera de conversión de las unidades de masa o volumen a energía del consumo de combustible.

Tabla 33. Coeficientes de medición para hallar la energía liberada por combustible

Valor calorífico neto (TJ/1000 ton)	40.19
Densidad de combustible (kg/l)	0.94

Fuente: Greenhouse Gas Assessment Handbook. A Practical Guidance Document for the Assessment of Project- level Greenhouse Gas Emissions.

Ecuación 10: Energía liberada por combustible

$$Energía liberada por combustible (TJ) = Volumen(gal) \times \frac{3.785 l}{gal} \times Densidad \frac{kg}{l} \times VCN \frac{TJ}{1000 ton} \times \frac{1 ton}{1000000kg}$$

Fuente: Elaboración propia

$$Energía liberada por combustible (TJ) = 1782.9(gal) \times \frac{3.785 l}{gal} \times 0.94 \frac{kg}{l} \times 40.19 \frac{TJ}{1000 ton} \times \frac{1 ton}{1000kg} =$$

$$= 0.26 TJ$$

Habiéndose dado la conversión del volumen del combustible empleado, de Galones a Terajoules, para obtener un resultado en términos de energía, donde se tuvieron en cuenta además del VCN de calor liberado en su combustión, las propiedades físicas propias del combustible que es un producto denso, gravedad específica y densidad datos tomados de la referencia bibliográfica del anexo 6; se obtuvo que la Energía liberada por el aceite residual R500 fue de 0.26 TJ.

- **Emisión de CO₂eq del combustible (ton CO₂)**

El total de emisiones de los GEI producto de la combustión del combustible R500 se obtuvo multiplicando la Energía liberada por consumo de combustible (TJ) por su Factor de emisión por defecto (Ton/TJ). Para lo cual, la combustión eficaz del combustible se encuentra optimizada al derivar la mayor cantidad de energía por combustible consumido y, por lo tanto, se obtiene la mayor cantidad de dióxido de carbono; es decir que garantiza la máxima oxidación del CO₂ que se encuentra en el combustible. Por otro lado, el Factor de Emisión de CO₂ es un valor por defecto, el cual, no guarda relación directa con el proceso de combustión, sino que depende más que todo de su contenido de carbono.

Tabla 34. Coeficiente de medición para hallar las emisiones de GEI

Factor de emisión de CO ₂ (kg/TJ)	73300
--	-------

Fuente: Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Vol 2. Energía

Ecuación 11: Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la combustión estacionaria

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PROCEDENTES DE LA COMBUSTIÓN ESTACIONARIA

$$Emisiones_{gases\ efecto\ invernadero} = Consumo_{combustible} \cdot Factor\ de\ emisión_{GEI,combustible}$$

Fuente: Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Vol 2. Energía

$$Emisión\ de\ CO_{2eq} = 73300 \frac{kg}{TJ} \times \frac{1\ ton}{1000\ kg} \times 0.26\ TJ = 19.058\ TonCO_{2eq}$$

El factor de emisión por defecto para el aceite residual R500 encontrado en el inventario del IPCC es de 73300 kg/TJ, el cual al multiplicarse por el consumo de combustible en unidades de energía 0.26 TJ, dio como producto 19.058 ton de emisiones de CO₂eq.

ANEXO III. DATOS PARA ESTIMAR EMISIONES DE CARBONO

Tabla 35. Valores de contenido de energía de combustibles fósiles (productos refinados de petróleo)

Combustible líquido	Gravedad específica (kg/l)	Valor neto calorífico		
		MJ/kg	TJ/1000t	MJ/l
Petróleo crudo	0.86	41.90	41.9	36.03
Gas licuado de petróleo GLP	0.54	47.31	47.31	25.55
Gasolina	0.74	44.90	44.90	33.15
Querosene	0.81	44.75	44.35	36.25
Combustible de avión	0.82	44.59	44.59	36.56
Diésel	0.84	43.33	43.33	36.40
Combustible Aceite residual	0.94	40.19	40.19	37.76
Gas natural licuado	0.42	52.80	52.80	22.2

Fuente: Global Environment Division, (1998)

Tabla 36. Valores de contenido de energía de productos refinados de petróleo

Liquid Fuels (MJ/litre)	Specific Gravity*	Net Heating Values (MJ/kg)	
Fossil Fuels			
Crude Oil	0.86	41.9	36.7
LPG	0.54	45.6	24.6
Propane	0.51	45.7	23.3
Butane	0.58	45.3	26.3
Gasoline	0.74	43.9	32.6
Avgas	0.71	44.3	31.5
Motor gasoline	0.74	44.0	32.6
Wide-cut	0.76	43.7	33.3
White spirit	0.78	43.5	34.0
Kerosene	0.81	43.2	35.0
Aviation turbine fuel	0.82	43.1	35.4
Distillate fuel oil			
Heating oil	0.83	43.0	35.7
Autodiesel	0.84	42.8	36.0
Heavy diesel	0.88	42.4	37.3
Residual fuel oil	0.94	41.5	39.0
Light	0.93	41.8	38.9
Heavy	0.96	41.4	39.8
Lubricating oils	0.881	42.4	37.3
Asphalt	1.05	37.0	38.9
Tar	1.20	38.5	46.3
Liquified natural gas	0.42	52.8	22.2
Biomass-Derived liquids			
Ethanol	0.79	27.6	21.9
Methanol	0.80	20.9	16.8

Fuente: Global Environment Division, (1998)

Tabla 37. Inventario de Factores de emisión para la combustión estacionaria en las industrias energéticas

CUADRO 2.2 FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA COMBUSTIÓN ESTACIONARIA EN LAS INDUSTRIAS ENERGÉTICAS (kg de gas de efecto invernadero por TJ sobre una base calórica neta)										
Combustible	CO ₂			CH ₄			N ₂ O			
	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	
Petróleo crudo	73 300	71 000	75 500	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Orimulsión	r77 000	69 300	85 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gas natural licuado	r64 200	58 300	70 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gasolina	Gasolina para motores	r69 300	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Gasolina para la aviación	r70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Gasolina para motor a reacción	r70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
Queroseno para motor a reacción	r71 500	69 700	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Otro queroseno	71 900	70 800	73 700	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Esquisto bituminoso	73 300	67 800	79 200	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gas/Diesel Oil	74 100	72 600	74 800	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Fuelóleo residual	77 400	75 500	78 800	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gases licuados de petróleo	63 100	61 600	65 600	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3	
Etano	61 600	56 500	68 600	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3	
Nafta	73 300	69 300	76 300	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Bitumen	80 700	73 000	89 900	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Lubricantes	73 300	71 900	75 200	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Coque de petróleo	r97 500	82 900	115 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Alimentación a procesos de refinerías	73 300	68 900	76 600	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Otro petróleo	Gas de refinería	n57 600	48 200	69 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Ceras de parafina	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Espíritu blanco y SBP	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Otros productos del petróleo	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2
Antracita	98 300	94 600	101 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Carbón de coque	94 600	87 300	101 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Otro carbón bituminoso	94 600	89 500	99 700	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Carbón sub-bituminoso	96 100	92 800	100 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Lignito	101 000	90 900	115 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Esquisto bituminoso y alquitrán	107 000	90 200	125 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Briquetas de carbón de lignito	97 500	87 300	109 000	n 1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Combustible evidente	97 500	87 300	109 000	1	0,3	3	n 1,5	0,5	5	
Coque	Coque para horno de coque y coque de lignito	r107 000	95 700	119 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5
	Coque de gas	r107 000	95 700	119 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3

Fuente: IPCC, (2006)

ANEXO V. EVALUACIÓN EX POST

Se realizó una evaluación ex post de la actividad productiva para la evaluación de la Huella de Carbono luego de haber sido implementado el horno túnel y haber hecho el cambio de matriz energética de petróleo residual R500 a GLP. La cual se refirió a evaluaciones de su desempeño mediante el monitoreo del consumo de combustible y cantidad de ladrillo Huevo H15 producido y la valoración del indicador ambiental del HDC en condiciones normales de operación.

1) MEDICIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El Horno Túnel tiene un sistema de alimentación de matriz energética de combustible GLP, la cual consiste en 6 diferentes tanques contenedores de acero con una capacidad de 1000 gal cada uno los cuales suministran el combustible mediante una tubería principal que alimenta todo el sistema de combustión del horno.

Se tomaron 5 lecturas de medición del consumo del GLP en los 6 tanques mediante un indicador de nivel que proporciona el porcentaje de combustible que se encuentra en el tanque; la determinación del nivel del combustible se encuentra relacionada a la presión diferencial del tanque, la densidad del GLP y la presión de servicio. Dado que el porcentaje del GLP encontrado es proporcional a la cantidad de galones, al haber medido el combustible consumido en los 6 tanques luego de la quema que fue de 112%, se infiere que el total de GLP utilizado fue de 1120 galones. Las mediciones realizadas se pueden ver en la Tabla 46 a continuación.

Tabla 38. Lectura de mediciones del consumo de combustible GLP

Fecha	Hora	Tanque 1		Tanque 2		Tanque 3		Tanque 4		Tanque 5		Tanque 6	
		%	gal	%	gal	%	gal	%	gal	%	gal	%	gal
11/10	10:20 am	65	650	70	700	40	400	65	650	62	620	30	300
	6:30 pm	60	600	65	650	38	380	63	630	60	600	30	300
12/10	10:00 am	50	500	60	600	30	300	50	500	50	500	30	300
	7:25 pm	48	480	55	550	25	250	45	450	41	410	26	260

	10: 40 pm	45	450	50	500	19	190	41	410	40	400	25	250
Total GLP utilizado por tanque		20	200	20	200	21	210	24	240	22	220	5	50
Total GLP utilizado (gal)												1120	

Fuente: Elaboración propia

2) MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DEL HORNO DEL HORNO TÚNEL CON EL LADRILLO DE REFERENCIA HUECO H15

El nuevo sistema implementado del horno tipo túnel tiene una operación en la cual se cargan vagones de ladrillo crudo seco los cuales son empujados hacia el horno moviéndose dentro del mismo intermitentemente en intervalos de 40 minutos cada empuje. Hallándose un total de 54.5 vagones empujados, ya que hay 240 unidades de ladrillos H15 por vagón, se obtuvo al final 13080 unidades de ladrillo que equivalen a 90.252 toneladas. De la misma forma que en la evaluación ex ante, se tomó el mismo periodo de quema de 36 horas y 20 minutos y ladrillo de referencia Hueco 15.

La medición de 36 horas y 20 min a diferencia del ex ante de 36 horas y 30 min se debe a que cada vagón toma 40 minutos en el proceso de cocción. Cada vagón contiene 240 ladrillos separados en dos bloques cada uno de 120 ladrillos y entran en un bloque a la vez por empuje al horno y se optó por tomar los primeros 120 ladrillos, es decir los primeros 20 minutos.

La siguiente tabla muestra las mediciones realizadas.

Tabla 39. Medición de empujes de vagones en un periodo de 36 h y 20 min

11/10		12/10	
Hora	Vagón	Hora	Vagón
10:20 am	0	9:40 am	35
11:00 am	1	10:20 am	36
11:40 am	2	11:00 am	37

12:20 am	3	11:40 am	38
1:00 pm	4	12:20 pm	39
1:40 pm	5	1:00 pm	40
2:20 pm	6	1:40 pm	41
3:00 pm	7	2:20 pm	42
3:40 pm	8	3:00 pm	43
4:20 pm	9	3:40 pm	44
5:00 pm	10	4:20 pm	45
5:40 pm	11	5:00 pm	46
6:20 pm	12	5:40 pm	47
7:00 pm	13	6:20 pm	48
7:40 pm	14	7:00 pm	49
8:20 pm	15	7:40 pm	50
9:00 pm	16	8:20 pm	51
9:40 pm	17	9:00 pm	52
10:20 pm	18	9:40 pm	53
11:00 pm	19	10:20 pm	54
11:40 pm	20	10:40 pm	54.5
12:20 am	21		
1:00 am	22		
1:40 am	23		
2:20 am	24		
3:00 am	25		
3:40 am	26		
4:20 am	27		
5:00 am	28		
5:40 am	29		
6:20 am	30		
7:00 am	31		
7:40 am	32		

8:20 am	33
9:00 am	34

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Resumen del funcionamiento del Horno Túnel para la toma de mediciones

Hora de inicio 11/10	10:20 pm
Hora de fin 12/10	10: 40 pm
2 empujes	1 vagón
Total de n° vagones	54.5
1 vagón de H15	2 paquetes de ladrillo
1 paquete de ladrillo	120 unidades
1 vagón H15	240 unidades
Total ladrillos H15	13080 unidades
Peso por ladrillo H15	6.9 kg
Total ladrillos H15	90.252

Fuente: Elaboración propia

3) DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DEL IPCC PARA HALLAR LA HUELLA DE CARBONO

En la siguiente Tabla, se encuentran los datos de referencia obtenidos de las mediciones del consumo de combustible y la cantidad de ladrillo cocido, los cuales son necesarios para poder hallar las emisiones de CO₂eq del combustible y la HDC.

Tabla 41. Resultado de las mediciones de la evaluación ex post

Fecha	Periodo de medición	Horas trabajadas	Unidades de ladrillo H15	Ladrillos cocidos H15 (ton)	Consumo GLP (gal)

11 y 12 /10	10:20 am – 10:40 pm	36h y 20 min	13080	90.252	1120
----------------	------------------------	--------------	-------	--------	------

Fuente: Elaboración propia en base a monitoreos de la evaluación ex post

Los datos necesarios para determinar la huella de carbono mediante la ecuación del indicador ambiental son Energía liberada por el combustible GLP (TJ), Emisión de CO₂eq del combustible (ton CO₂eq).

- **Energía liberada por combustible (TJ)**

Dado que para la ecuación de emisiones de GEI para obtener el indicador ambiental, se requiere que la energía liberada por el combustible se encuentre en Terajoules (TJ), se realizó la conversión de los galones a TJ donde se tuvo en cuenta las propiedades físicas propias del combustible como la gravedad específica, densidad y valor calorífico neto, datos tomados de la referencia bibliográfica del anexo III:

Tabla 42. Coeficientes de medición para hallar la energía liberada por combustible

Valor calorífico neto (TJ/1000 ton)	47.3
Densidad de combustible (kg/l)	0.54

Fuente: Global Environment Division, (1998)

Ecuación 12: Energía liberada por combustible

$$\text{Energía liberada por combustible (TJ)} = \text{Volumen}(\text{gal}) \times \frac{3.785 \text{ l}}{\text{gal}} \times \text{Densidad} \frac{\text{kg}}{\text{l}} \times \text{VCN} \frac{\text{TJ}}{1000\text{ton}} \times \frac{1\text{ton}}{1000\text{kg}}$$

Fuente: Elaboración propia

$$\begin{aligned} \text{Energía liberada por combustible (TJ)} &= 1120(\text{gal}) \times \frac{3.785 \text{ l}}{\text{gal}} \times 0.54 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \times 47.3 \frac{\text{TJ}}{1000 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000\text{kg}} = \\ &= 0.11 \text{ TJ} \end{aligned}$$

- **Emisión de CO₂eq del combustible (ton CO₂)**

El total de emisiones de los GEI producto de la combustión del combustible GLP se obtuvieron multiplicando la Energía liberada por consumo de combustible (TJ) por su Factor de emisión por defecto (Ton/TJ). Para lo cual la combustión eficaz del combustible se encuentra optimizada al derivar la mayor cantidad de energía por combustible consumido y por lo tanto se obtiene la mayor cantidad de dióxido de carbono, es decir que garantiza la máxima oxidación del CO₂ que se encuentra en el combustible. Por otro lado, el Factor de Emisión de CO₂ es un valor por defecto, el cual no guarda relación directa con el proceso de combustión, sino que depende más que todo de su contenido de carbono.

Tabla 43. Coeficientes de medición para hallar las emisiones de GEI

Factor de emisión de CO ₂ (kg/TJ)	63100
--	-------

Fuente: IPCC, (2006)

Ecuación 13: Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la combustión estacionaria

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PROCEDENTES DE LA COMBUSTIÓN ESTACIONARIA

$$Emisiones_{gases\ efecto\ invernadero} = Consumo_{combustible} \cdot Factor\ de\ emisión_{GEI,combustible}$$

Fuente: Directrices del IPCC

$$Emisión\ de\ CO_{2eq} = 63100 \frac{kg}{TJ} \times \frac{1\ ton}{1000\ kg} \times 0.11\ TJ = 6.941\ TonCO_{2eq}$$

ANEXO VI. CÁLCULO DE SCORE DE ALTERNATIVAS

$$S_j = \sum_i w_i r_{ij}$$

S_j : Score para la alternativa j

w_i : Ponderación para cada Criterio i

r_{ij} : Rating de la alternativa j en función del Criterio i

b. Horno de Tiro Invertido

$$S_j = 5*6 + 5*5 + 4*3 + 4*3 + 3*2 + 2*9$$

$$S_j = 30 + 25 + 12 + 12 + 6 + 18$$

$$S_j = 103$$

c. Horno Colmena

$$S_j = 5*2 + 5*5 + 4*4 + 4*3 + 3*1 + 2*7$$

$$S_j = 10 + 25 + 16 + 12 + 3 + 14$$

$$S_j = 80$$

d. Horno Paulistinha

$$S_j = 5*1 + 5*4 + 4*3 + 4*3 + 3*1 + 2*7$$

$$S_j = 5 + 20 + 12 + 12 + 3 + 14$$

$$S_j = 66$$

e. Horno Vagón

$$S_j = 5*4 + 5*9 + 4*3 + 4*4 + 3*6 + 2*3$$

$$S_j = 20 + 45 + 12 + 16 + 18 + 6$$

$$S_j = 117$$

f. Horno Cedan

$$S_j = 5*4 + 5*7 + 4*3 + 4*4 + 3*7 + 2*4$$

$$S_j = 20 + 35 + 12 + 16 + 21 + 8$$

$$S_j = 112$$

g. Horno Hoffman

$$S_j = 5*8 + 5*7 + 4*7 + 4*4 + 3*3 + 2*5$$

$$S_j = 40 + 35 + 28 + 16 + 9 + 10$$

$$S_j = 138$$

h. Horno Túnel

$$Sj = 5*7 + 5*9 + 4*9 + 4*6 + 3*9 + 2*2$$

$$Sj = 35 + 45 + 36 + 24 + 27 + 4$$

$$Sj = 171$$

i. Horno FCBTK

$$Sj = 5*5 + 5*4 + 4*4 + 4*5 + 3*4 + 2*6$$

$$Sj = 25 + 20 + 16 + 20 + 12 + 12$$

$$Sj = 105$$

j. Horno Vertical Continuo

$$Sj = 5*7 + 5*7 + 4*4 + 4*8 + 3*5 + 2*4$$

$$Sj = 35 + 35 + 16 + 32 + 15 + 8$$

$$Sj = 141$$

ANEXO VII. ÍNDICES DE NOCIDIDAD DE COMBUSTIBLES (INC)

Tabla 44. Índices de nocividad de combustibles (INC) para el período 2020 - 2021

Tipo de Combustible	INC
Gas Natural	1,0
Gas Licuado de Petróleo (GLP)	2,3
Carbón Antracítico	6,2
Carbón Bituminoso	9,5
Gasohol 95/97/98 Octanos	10,7
Gasohol 90 Octanos - S50	12,5
Gasohol 90 Octanos	13,1
Diesel B5 - S50	14,2
Diesel B5 - S5000	16,7
Turbo A1	17,5
Petróleo Industrial N° 6	26,5
Gasohol 84 Octanos - S50	28,9
Gasohol 84 Octanos	29,5
Petróleo Industrial N° 500	36,0

Fuente: MINAM, (2020)

ANEXO VIII. INFORME DE MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL

a. CALIDAD DE AIRE

1.1 Estaciones de Monitoreo

El Monitoreo de la Calidad de Aire se realizó en dos (02) Estaciones de Monitoreo, instaladas dentro de la planta industrial, tal como se detallan en la tabla a continuación.

Tabla 45. Estaciones de monitoreo de calidad de aire

Identificación	Condición	Ubicación	Coordenadas WGS84	UTM
EMA-01	Barlovento	Techo Oficinas Administrativas	8191407 - 226946	
EMA -02	Sotavento	Área producto Terminado	8191366 - 227021	

Fuente: Evaluación de Campo

1.1.1 Parámetros Evaluados

Partículas:

- Partículas en Suspensión (PM₁₀)
- Partículas en Suspensión (PM_{2.5})

Gases:

- Dióxido de Azufre (SO₂).
- Dióxido de Nitrógeno (NO₂).
- Monóxido de Carbono (CO).
- Sulfuro de Hidrogeno (H₂S)

1.2 Metodología de Muestreo

Partículas en Suspensión (PM₁₀)

Para el muestreo de Partículas en Suspensión (PM₁₀) se empleó un Muestreador de Alto Volumen - HIVOL PM₁₀. Este equipo trabaja con un flujo de 1,13 m³/min, cuyo aire atraviesa un filtro de membrana, que retiene partículas con un diámetro aerodinámico menor a 10 micras. La concentración de las partículas en suspensión

PM10 se calcula por gravimetría, determinando el peso de la masa recolectada y el volumen de aire muestreado. El período de muestreo comprende hasta 24 horas. Las unidades de concentración para este contaminante son expresadas en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Partículas en Suspensión (PM_{2.5})

Para el muestreo de Partículas en Suspensión (PM_{2.5}) se empleó un Muestreador de Alto Volumen - HIVOL PM_{2.5}. Este equipo trabaja con un flujo de 1,13 m³/min, cuyo aire atraviesa un filtro de membrana, que retiene partículas con un diámetro aerodinámico menor a 10 micras. La concentración de las partículas en suspensión PM_{2.5} se calcula por gravimetría, determinando el peso de la masa recolectada y el volumen de aire muestreado. El período de muestreo comprende hasta 24 horas. Las unidades de concentración para este contaminante son expresadas en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Dióxido de Azufre (SO₂)

El monitoreo de Dióxido de Azufre (SO₂) se realizó con el método estandarizado de West-Gaeke, también conocido como el método de la Pararosanilina, empleando sistemas dinámicos para el muestreo. Los resultados son expresados en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Es determinado por el método de Griess Saltzman Reaction. Para captar la muestra se empleó un tren de muestreo. El período de muestreo es de 01 hora. El análisis químico se realizó por colorimetría, siendo los resultados expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio para 01 hora.

Monóxido de Carbono (CO)

Para el muestreo de este gas se empleó un tren de muestreo (método dinámico) y ha sido determinado por el método Turbidimétrico. Los resultados son expresados en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Hidrógeno Sulfurado (H_2S)

Determina la concentración de H_2S en una muestra de gas corrida a través del instrumento estableciendo un flujo constante de gas a través de la cámara de muestra donde el H_2S es convertido en SO_2 el cual es expuesto a la luz ultravioleta causando que el SO_2 sea excitado. Cuando esas moléculas excitadas de SO_2 dejan de estarlo, el instrumento mide la cantidad de fluorescencia para determinar la cantidad de SO_2 presente en la cámara de muestra y mediante inferencia determinar la cantidad de H_2S presente en la muestra de gas.

1.3 Metodología de análisis

En la siguiente tabla se presenta en forma resumida, los métodos de análisis empleados.

Tabla 46. Métodos de Muestreos y Análisis empleados para la Calidad de Aire

Parámetros	Método de muestreo	Método de análisis	de Normas de referencia
Partículas en Suspensión PM10	Muestreador de alto volumen PM10	Gravimetría	NTP 900.030 - 2003
Dióxido de Azufre (SO_2)	Sistema dinámico tren de muestreo	Gravimetría	EPA 40CFR50 App A
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	Sistema dinámico tren de muestreo	Gravimetría	EPA 40CFR50 App F
Monóxido de Carbono (CO)	Sistema dinámico tren de muestreo	Lectura directa	--

Fuente: EPA Environmental Protection Agency – USA

1.3.1 Estándares y Límites Máximos Permisibles de Calidad de Aire

Para efectos del presente estudio se consideran los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (DS-003-2017-MINAM).

En la siguiente tabla se presentan los estándares y límites indicados en el párrafo anterior.

Tabla 47. Estándares Nacionales de Calidad de Aire para Calidad de Aire y Gases

Parámetros	Periodo	Forma del estándar		Método de análisis
		Valor (µg/m ³)	Criterios de evaluación	
Benceno (C ₂ H ₅)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 vez/año	Fluorescencia UV
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces/año	Quimioluminiscencia
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	24 horas	50	NE más de 7 vez/año	Separación inercial filtración (gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	NE más de 3 veces/año	Inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	Separación inercial filtración (gravimetría)
Mercurio Gaseoso total (Hg)	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30 000	NE más de 1 vez/año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	Infrarrojo no dispersivo (NDIR)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1.5	NE más de 4 veces al año	Método para PM ₁₀ (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0.5	Promedio aritmético de los valores mensuales	
Hidrógeno Sulfurado (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia UV (método automático)

Fuente: MINAM, (2017)

1.4 PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

Los parámetros meteorológicos fueron tomados en el lugar, son los siguientes:

- Temperatura máxima y mínima

- Presión media
- Humedad Relativa
- Velocidad del Viento
- Dirección del Viento

1.5 EMISIONES GASEOSAS

El monitoreo de Emisiones Atmosféricas se realizó en la chimenea del horno túnel; considerando los procedimientos descritos en el Protocolo de Monitoreo de Emisiones Atmosféricas del Ministerio de la Producción (R.M. N° 026-2000-ITINCI/DM).

1.5.1 Puntos de Medición

En la siguiente tabla se presenta la ubicación del punto de medición de emisiones atmosféricas.

Tabla 48. Puntos de Medición de Emisiones Atmosféricas

Fuente	Punto de Medición	Combustible Utilizado	Coordenadas UTM WGS84
Horno	Chimenea de Horno túnel	GLP	226983 - 8191377

Fuente: Evaluación de Campo

1.5.2 Parámetros Evaluados

Los parámetros evaluados son los siguientes:

- Flujo volumétrico
- Partículas (AP42)
- Velocidad
- Tiempo de emisión
- Flujo másico
- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
- Dióxido de Azufre (SO₂)
- Sulfuro de Hidrogeno (H₂S)
- Oxígeno (O₂)

- Temperatura de Gases
- Temperatura Ambiente
- Dióxido de Carbono (CO₂)
- Exceso de Aire
- Eficiencia de Combustión
- Monóxido de Carbono

1.5.3 Equipo de Medición

En cuanto al monitoreo de Emisiones Gaseosas, éste se realizó con el Analizador de combustión de emisiones industriales marca TESTO, modelo 350S con número de serie 1321726, con dicho equipo se llevó a cabo el análisis de los parámetros.

Para efectuar las mediciones se introdujo una sonda especial a 1,5 m de altura de la chimenea. El gas es absorbido y conducido a los sensores donde es analizado a través de un microprocesador digital de alta precisión los resultados son recibidos en forma directa en un “display electrónico”, luego es almacenado en su memoria interna e impreso en un papel térmico.

1.5.4 Límites Máximos Permisibles

Se toma como referencia el R.M.074-2012-MINAM límites Máximo permisibles de emisiones atmosféricas para la producción de ladrillos, como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 49. Estándares de Calidad para Emisiones Gaseosas para la Industria

Combustible	Concentración de Gases (mg/Nm ³) a Condiciones Normales				
	Partículas	NO _x	SO ₂	H ₂ S	CO
Líquido	100	460	750	2000 ⁽¹⁾	500
Gas		320			100
Sólido	150	650	300		1000

Fuente: World Bank Guidelines, (2008)

1. RESULTADOS DE LA CALIDAD DE AIRE

En los cuadros siguientes se presentan las concentraciones de Partículas en Suspensión PM₁₀, PM_{2.5}, Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno, Monóxido de Carbono. Estos resultados están debidamente respaldados por el Informe de Ensayo de Laboratorio.

2.1 Partículas

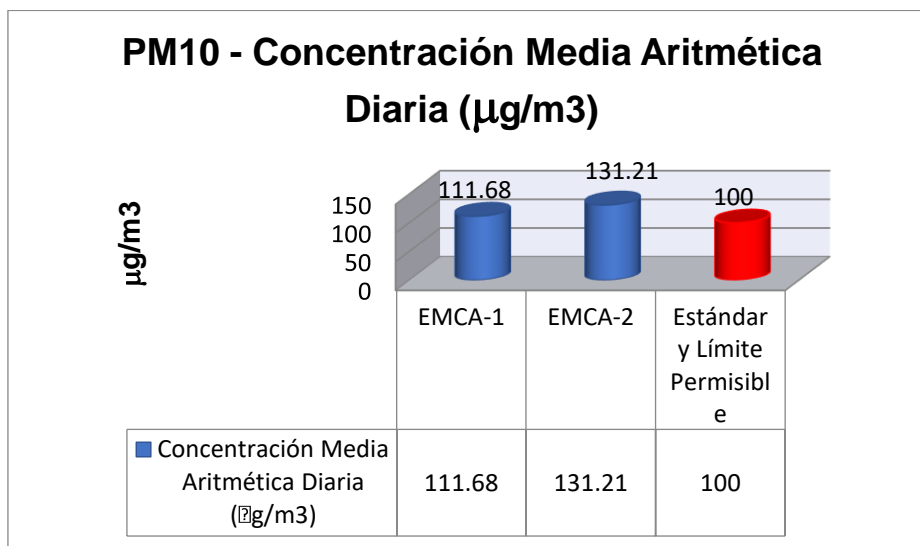
En la siguiente tabla se presentan los niveles de partículas en suspensión (PM₁₀, PM_{2.5}), registrados en el monitoreo de calidad de aire.

Tabla 50. Concentración de material particulado

Estación de Muestreo	Fecha de Muestreo	Concentración Media Aritmética Diaria PM ₁₀ (µg/m ³)	Concentración Media Aritmética Diaria PM _{2.5} (µg/m ³)	Coordenadas UTM
EMCA-01	2019-06-09	111.68	13.42	8191407 - 226946
EMCA-02	2019-06-09	131.21	13.40	8191366 - 227021
Estándar y Límite Permisible		100⁽¹⁾	50⁽¹⁾	

Fuente: Evaluación de campo - DS-003-2017-MINAM

Gráfica 14. Concentración Aritmética Media – PM10

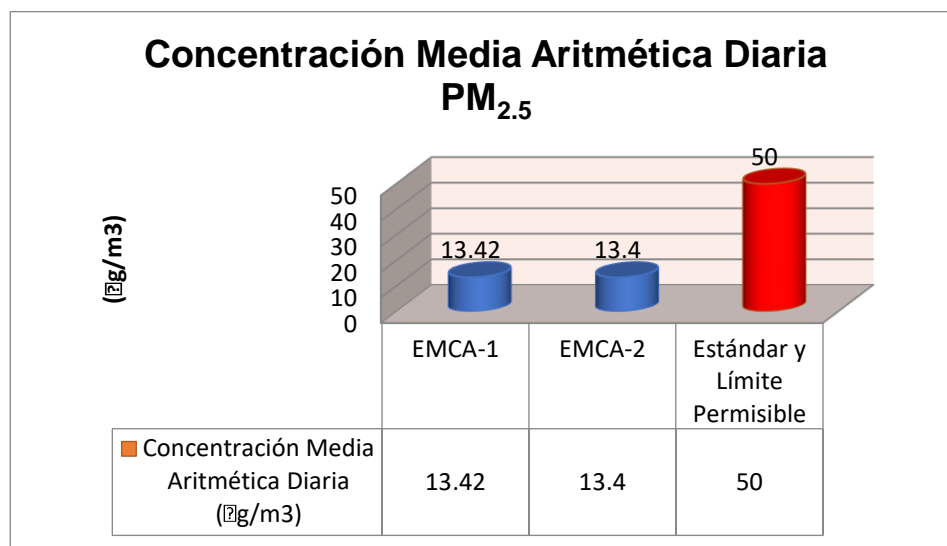


Fuente: Elaboración propia

- Como se puede observar en el gráfico 14, la concentración de PM10 en las dos estaciones de monitoreo, se encuentran por encima del ECA para aire establecido por el DS-003-2017-MINAM.

Pero si se tiene en cuenta que el punto EMCA-1 ingresa con 111.68 ug/m^3 y el punto de salida EMCA-2 sale con 131.21 ug/m^3 , por lo que el aporte de la empresa es de 19.53 ug/m^3 , por lo que no superaría los ECA de aire.

Gráfica 15. Concentración Aritmética Media – PM_{2.5}



Fuente: Elaboración propia

- Como se puede observar en el gráfico 15, la concentración de PM_{2.5} en las dos estaciones de monitoreo, se encuentran por debajo del ECA para aire establecido por el DS-003-2017-MINAM.

2.2 Gases

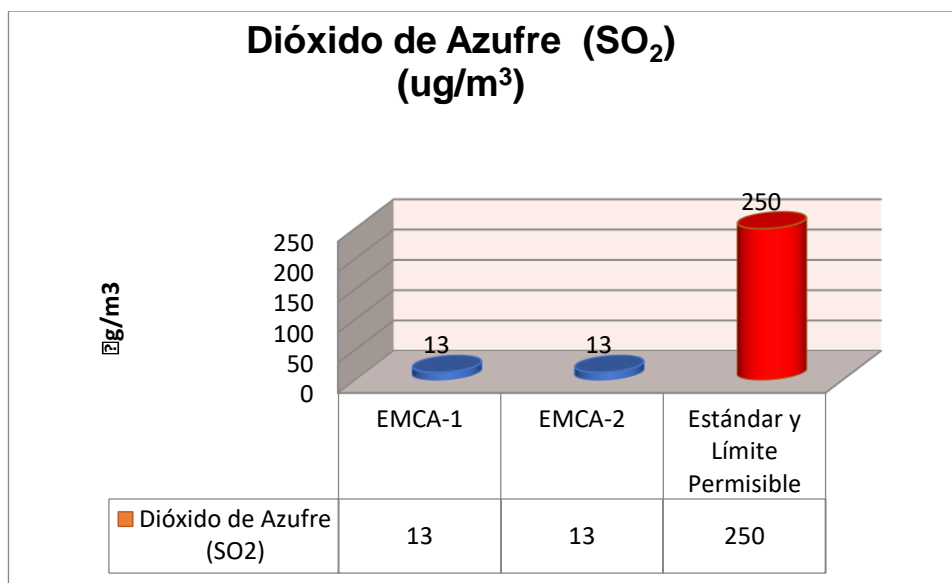
En la siguiente tabla se presentan los niveles registrados para los parámetros dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y sulfuro de hidrógeno.

Tabla 51. Concentración de Gases

Estación de Muestreo	Fecha de Muestreo	Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				Coordenadas UTM
		Dióxido de Azufre (SO_2)	Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	Monóxido de Carbono (CO)	Sulfuro de Hidrogeno (H_2S)	
EMA-01	2019-06-09	<13.0	<104.17	<1,250	<7.0	8191407 - 226946
EMA-02	2019-06-09	<13.0	<104.17	<1,250	<7.0	8191366 - 227021
Estándar y Límite Permisible		250	200⁽¹⁾	30 000⁽¹⁾	150	

Fuente: Evaluación de campo - D. S. N° 003-2017-MINAM.

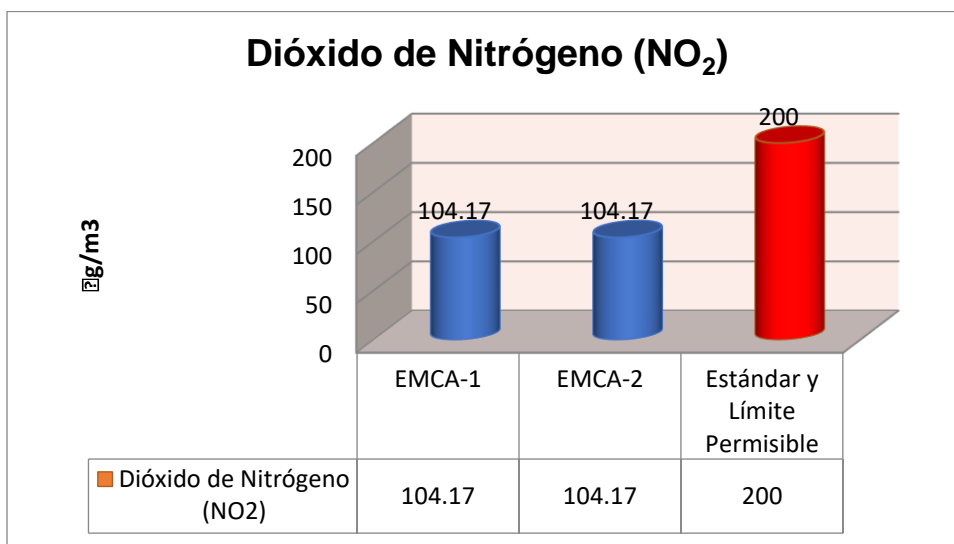
Gráfica 16. Concentración Aritmética Media – SO_2



Fuente: Elaboración propia

- Como se puede observar en el gráfico 16 los dos puntos medidos se encuentran por debajo del ECA para aire establecido por el DS-003-2017-MINAM.

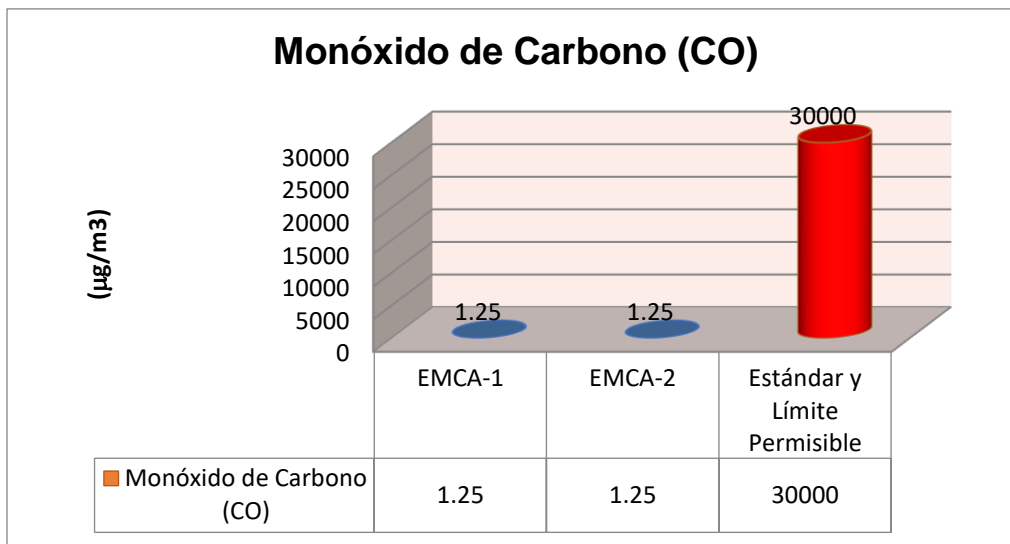
Gráfica 17. Concentración Aritmética Media – NO₂



Fuente: Elaboración propia

- Como se puede observar en el gráfico 17 los dos puntos medidos se encuentran por debajo del ECA para aire establecido por el DS-003-2017-MINAM.

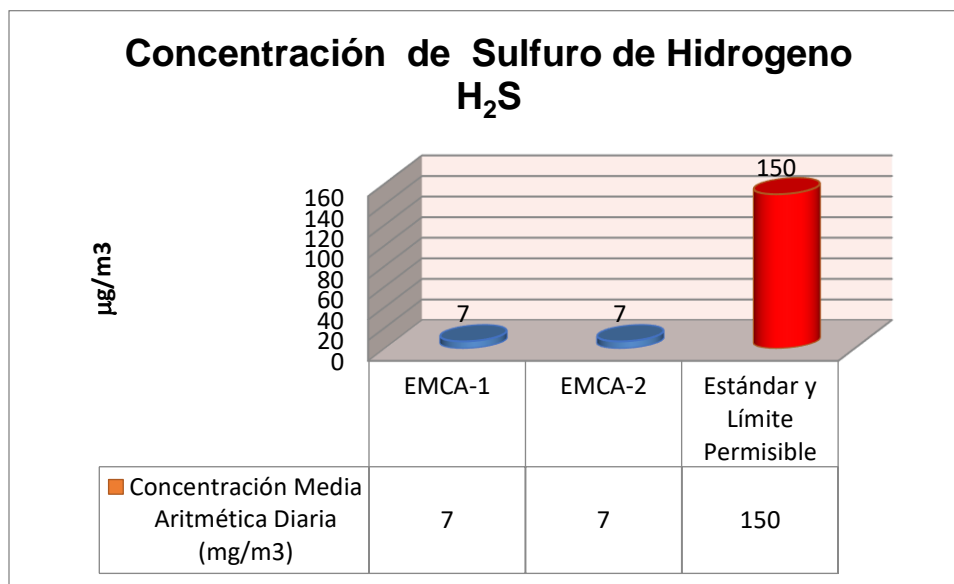
Gráfica 18. Concentración aritmética media – CO



Fuente: Elaboración propia

- Como se puede observar en el gráfico 18 los dos puntos medidos se encuentran por debajo del ECA para aire establecido por el DS-003-2017-MINAM.

Gráfica 19. Concentración Aritmética Media – H₂S



Fuente: Elaboración propia

- Como se puede observar en el gráfico 19 los dos puntos medidos se encuentran por debajo del ECA para aire establecido por el DS-003-2017-MINAM.

Según los resultados obtenidos respecto a la calidad de aire, indican que los niveles de concentración de partículas en suspensión PM₁₀, PM_{2.5}, Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Monóxido de Carbono (CO), Sulfuro de Hidrogeno (H₂S), encontrados en las dos estaciones de monitoreo evaluadas, se encuentran por debajo del ECA para aire establecido por el DS-003-2017-MINAM.

2. PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

En la siguiente tabla se presenta los parámetros meteorológicos registrados en la estación meteorológica.

Tabla 52. Registro Meteorológico

Día		Temperatura Ambiental (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Viento (m/s)	Presión Atmosférica	Dirección Predominante del Viento
2019-06-09	EMA-01	16.2	14.7	0.7	566.0	SSE

Fuente: Informe de monitoreo de calidad ambiental

4. EMISIONES GASEOSAS

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos del monitoreo de emisiones gaseosas, proporcionados por el analizador de gases de combustión, marca TESTO modelo 350S.

Tabla 53. Resultados de Monitoreo de Emisiones de Chimenea – mg/m³N

Descripción	Unidad de medida	Promedio
Fecha de Medición	2019-06-09	
Partículas (AP42)	mg/m ³	0.001
Velocidad	m/s	2.89
Tiempo de emisión	h/d	24 h/d
Monóxido de Carbono	mg/m ³ N	285.51
Óxidos de Nitrógeno	mg/m ³ N	34.85
Dióxido de Azufre	mg/m ³ N	<15
Temperatura de gas	°C	320.42 °C
Exceso de aire	%	970.18
Eficiencia de Combustión	%	82.42

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se presentan los resultados de monitoreo de gases en chimenea del horno túnel comparados con los límites establecidos.

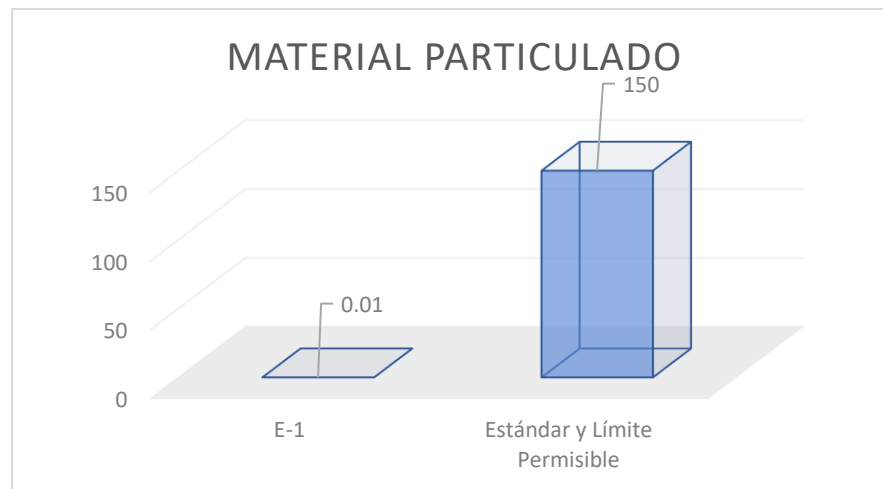
Tabla 54. Niveles de Gases en las Chimenea Evaluada

	Concentración de Gases (mg/m ³ N) a Condiciones Normales			
	Partículas	NOx	SO ₂	CO
Chimenea – Horno Túnel	0.001	34.85	<15	285.51
Límite Máximo Permisible	150⁽²⁾	650⁽²⁾	300⁽²⁾	1000⁽²⁾

Fuente: Evaluación de campo - R.M. 074-2012-MINAM

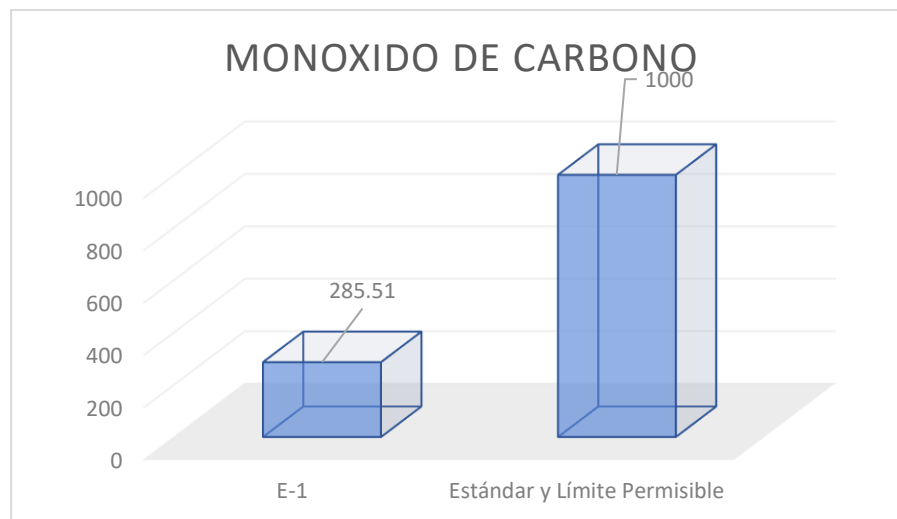
- Como podemos observar, los parámetros, material particulado, CO, NOx, SO₂, se encuentran bajo la normatividad R.M.074-2012-MINAM
- El Monitoreo fue realizado en la chimenea del horno túnel.

Gráfica 20. Concentración de material particulado



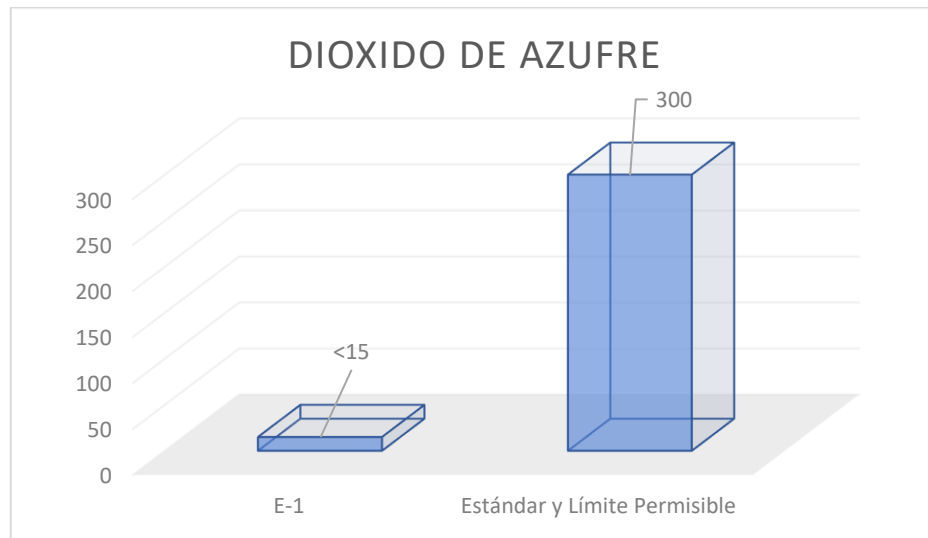
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 21. Concentración de monóxido de carbono CO



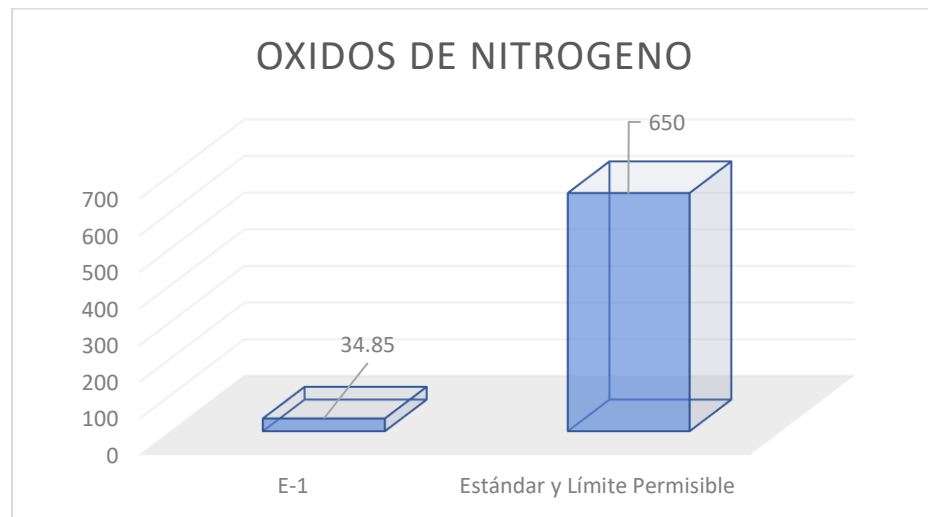
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 22. Concentración de dióxido de azufre SO₂



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 23. Concentración de óxidos de nitrógeno NO_x



Fuente: Elaboración propia

ANEXO IX. HOJAS DE SEGURIDAD DE LOS COMBUSTIBLES

1. HOJA DE SEGURIDAD ACEITE RESIDUAL R500



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Conforme al Reglamento CE N° 1907/2006 - REACH y Reglamento CE N° 1272/2008 - CLP

PETRÓLEO INDUSTRIAL 500

SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA

1.1 Identificador del producto

Nombre comercial	PETRÓLEO INDUSTRIAL 500
Nombre Químico	Residual de petróleo
Sinónimos	Industrial de alta viscosidad, Bunker, residual 500, Fuel oil, Heavy Fuel Oil, High Sulphur Fuel Oil.
N° CAS	68476-33-5
N° CE (EINECS)	270-675-6
N° Índice (Anexo VI)	
Reglamento CE N° 1272/2008)	649-024-00-9
N° Registro	NP
N° Autorización	NP

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Combustible para motores diésel de calderas, hornos y otros equipos de combustión.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Empresa	REFINERÍA LA PAMPILLA, S.A.A.
Dirección	Casilla Postal 10245 Km. 25 Carretera a Ventanilla. Lima-1 PERU
Teléfono	(51-1) 517-2021(51-1) 517-2022
Fax	(51-1) 5172026
Correo electrónico	NP

1.4 Teléfono de emergencia




Carechem 24: +34 9 1114 2520
Carechem 24: +44 (0) 1235 239 670

SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla	2.2 Elementos de la etiqueta
Clasificación Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)	Etiquetado



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Toxicidad aguda: Tox. ag. 4 Toxicidad para la reproducción: Repr. 2 Carcinogenicidad: Carc. 1B Toxicidad específica en determinados órganos: STOT repe. 2 Peligroso para el medio ambiente acuático: Acuático crónico. 1	Pictogramas GHS07 GHS08 GHS09	  
	Palabra de advertencia	Peligro
	Indicaciones de peligro	H332: Nocivo en caso de inhalación. H361d: Se sospecha que daña al feto. H350: Puede provocar cáncer. H373: Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas (vía dérmica). H410: Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
	Información suplementaria	EUH 066: La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel
	Consejos de prudencia	P201: Pedir instrucciones especiales antes del uso. P260: No respirar el polvo/el humo/el gas/la niebla/los vapores/el aerosol. P273: Evitar su liberación al medio ambiente. P280: Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección. P501: Eliminar el contenido/recipiente en el contenedor habilitado para tal efecto conforme a la normativa vigente.

2.3 Elementos suplementarios que deben figurar en las etiquetas
 || NP

2.4 Requisitos especiales de envasado
Recipientes que deben ir provistos de un cierre de seguridad para niños:
 || No aplica.

Advertencia de peligro táctil:
 || No aplica.

2.5 Otros peligros

Los resultados de la valoración PBT y mPmB del producto, de conformidad con los criterios establecidos en el anexo XIII del reglamento REACH, se pueden consultar en la sección 12.5 de esta FDS.

La información relativa a otros peligros, diferentes a los de la clasificación, pero que, pueden contribuir a la peligrosidad general del producto, se puede consultar en las secciones 5, 6 y 7 de esta FDS.



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

SECCIÓN 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Producto líquido de diversas corrientes de refinería, normalmente residuos.
La composición es compleja y varía con el origen del petróleo crudo.
Combinación compleja de hidrocarburos con número de carbonos en su mayor parte dentro del intervalo C12-C50.
Se obtiene como una mezcla de corrientes a partir de destilación atmosférica y al vacío.

Componentes peligrosos Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)	Concentración (%)	Indicaciones de peligro
Fuelóleo pesado; petróleo combustible, residual N° CAS: 68476-33-5 N° CE (EINECS): 270-675-6	>99	H332, H361d, H350, H373, H410

SECCIÓN 4. PRIMEROS AUXILIOS

4.1. Descripción de los primeros auxilios

Inhalación: Trasladar al afectado a una zona de aire fresco.
Si la respiración es dificultosa, practicar respiración artificial o aplicar oxígeno.
Solicitar asistencia médica.

Ingestión/aspiración: NO INDUCIR EL VÓMITO.
Si el vómito ocurre espontáneamente, controlar la respiración.
Solicitar asistencia médica.

Contacto con la piel: Quitar inmediatamente la ropa impregnada.
Lavar las partes afectadas con agua y jabón.
Solicitar asistencia médica.

Contacto con los ojos: Lavar las partes afectadas con agua y jabón.
En caso de contacto con los ojos, lavar abundantemente con agua durante unos 15 minutos.
Solicitar asistencia médica.

4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados.

Inhalación: Nocivo por inhalación.
La presión de vapor del producto a temperaturas normales de manejo es baja para permitir una concentración significativa de vapores.
Exposiciones repetidas y prolongadas a elevadas concentraciones pueden producir dolor de



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

cabeza, mareos, visión borrosa, fatiga, temblores y convulsiones, así como alteraciones en el sistema nervioso central.

A elevadas temperaturas se pueden formar vapores de sulfuro de hidrógeno.

Estos vapores son tóxicos, causando efectos que incluyen irritación de las vías altas respiratorias.

Ingestión/aspiración: No es frecuente, pero, si ocurre, puede causar desequilibrios gastrointestinales.

La aspiración del líquido a los pulmones puede producir daño pulmonar.

Contacto con la piel: Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel.

Contactos prolongados o repetidos pueden causar irritación y dermatitis.

Contacto con los ojos: Contactos prolongados con los ojos pueden producir irritación y conjuntivitis.

4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Solicitar asistencia médica.

SECCIÓN 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción apropiados: Agua pulverizada, espuma, polvo químico, CO₂. NO UTILIZAR NUNCA CHORRO DE AGUA DIRECTO.

Contraindicaciones: NP

5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Productos de combustión: CO₂, H₂O, CO (en caso de combustión incompleta). También puede producir SO_x. Sustancias irritantes o tóxicas pueden ser emitidas debido a la descomposición térmica del producto.

Medidas especiales: Mantener alejados de la zona de fuego los recipientes con producto. Enfriar los recipientes expuestos a las llamas. Si no se puede extinguir el incendio dejar que se consuma controladamente. Consultar y aplicar planes de emergencia en caso de que existan.

Peligros especiales: Material combustible. El vapor puede desplazarse hasta fuentes de ignición alejadas e inflamarse. Los recipientes pueden explotar con el calor del fuego. Vapores de hidrocarburos ligeros pueden acumularse en los espacios de cabeza de los contenedores, con riesgo de inflamabilidad/explosión incluso a temperaturas por debajo del punto de



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

inflamación del producto. Peligro de explosión de vapores en el interior, exterior o en conductos.

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios:

Guantes y trajes resistentes al calor. Equipo de respiración autónoma en caso de elevadas concentraciones de vapores o humos densos.

SECCIÓN 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Precauciones personales: Aislar el área.
Prohibir la entrada a la zona a personal innecesario.
No fumar.
Evitar zonas bajas donde se pueden acumular vapores.
Evitar cualquier posible fuente de ignición.
Cortar el suministro eléctrico.
Evitar las cargas electrostáticas.

Protección personal: Guantes impermeables de PVC.
Calzado de seguridad antiestático.
Protección ocular para prevenir el riesgo de salpicaduras.
Equipos de respiración autónoma en caso de altas concentraciones de vapores.

6.2. Precauciones relativas al medio ambiente

Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
Los vertidos crean una película sobre la superficie del agua evitando la transferencia de oxígeno.

6.3. Métodos y material de contención y de limpieza

Derrames pequeños: Recoger con materiales adsorbentes o porosos.
Derrames importantes: Evitar la dispersión del producto con barreras u otros medios de contención.
Canalizar mediante zanjas para posteriormente aspirarlo a contenedores, donde se almacenará hasta su eliminación.

6.4. Referencia a otras secciones

El apartado 8 contiene consejos más detallados sobre los equipos de protección individual y el apartado 13 sobre la eliminación de los residuos.

SECCIÓN 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

7.1. Precauciones para una manipulación segura



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Precauciones generales: Usar ropa de protección para evitar el contacto prolongado con la piel.
Usar protección ocular en caso de riesgo de salpicaduras.
En caso de manejarse a altas temperaturas tomar precauciones ante la posible presencia de SH2.
Utilizar instalaciones conectadas a tierra en operaciones de trasiego del producto.

Condiciones específicas: Ventilación local eficiente si se generan vapores o nieblas.
Herramientas antideflagrantes.
Procedimientos especiales durante la carga, limpieza y mantenimiento de los contenedores para evitar la exposición.
Antes de reparar un contenedor, asegurarse de que está correctamente purgado, lavado y comprobar que no hay atmósfera explosiva en su interior.
Durante la operación de purga puede desprenderse SH2

7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Temperatura y productos de descomposición: Puede producir CO y/o SH2 (gases tóxicos)

Reacciones peligrosas: Producto combustible.

Condiciones de almacenamiento: Guardar el producto en recipientes cerrados y etiquetados. Mantener los recipientes en lugar fresco, seco y bien ventilado, alejados de fuentes de ignición y de materiales incompatibles.
Los contenedores vacíos pueden contener residuos o vapores inflamables o explosivos.
No cortar, moler, taladrar, soldar, reusar o eliminar los contenedores sin haber tomado precauciones contra este riesgo.

Materiales incompatibles: Sustancias oxidantes fuertes.

7.3. Usos específicos finales

Ver apartado 1 ó escenario de exposición

SECCIÓN 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

8.1 Parámetros de control

No han sido establecidos niveles de exposición para este producto.

DNEL DN(M)ELs para trabajadores

Efecto sistémico, exposición aguda, Dérmica (mg/kg bw /día) : Ningún peligro identificado para esta ruta

Efecto sistémico, exposición aguda, Inhalación (mg/m³/15 min para la letalidad



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

8.2 Controles de la exposición

Evitar el contacto prolongado o repetido y la inhalación de vapores.

Equipos de protección personal

Protección respiratoria: Máscara de protección respiratoria en presencia de vapores o equipo autónomo en altas concentraciones.

Protección cutánea: Guantes de PVC. Calzado de seguridad antiestático.

Protección ocular: Gafas de seguridad. Lavaojos.

Otras protecciones: Duchas en el área de trabajo.

Prácticas higiénicas en el trabajo: La ropa empapada de producto debe ser mojada con abundante agua (preferentemente bajo la ducha) para evitar el riesgo de inflamación y ser retirada lo más rápidamente posible, fuera del radio de acción cualquier fuente de ignición. No fumar, comer o beber en las zonas donde se manipule el producto. Seguir medidas de cuidado e higiene de la piel, lavando con agua y jabón frecuentemente y aplicando cremas protectoras.

Condiciones médicas agravadas por la exposición: Problemas respiratorios y afecciones dermatológicas. No se debe ingerir alcohol dado que promueve la absorción intestinal de los fuelóleos.

Controles de exposición medioambiental:

El producto no debe alcanzar el medio a través de desagües ni del alcantarillado. Las medidas a adoptar en caso de vertido accidental se pueden consultar en la sección 6 de esta FDS.

SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto: Líquido aceitoso y viscoso.

Olor: Característico.

Umbral olfativo: NP

Color: Negro.

Valor pH: NP

Punto fusión/Punto de congelación: NP

Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición: PIE: 220 °C, PE (50%) : 529 °C

Punto de inflamación: 65,5 °C mín. (ASTM D-93)

Tasa de evaporación: NP

Inflamabilidad (sólido, gas): NP

Límites superior/inferior de inflamabilidad o de explosividad: Lím. inferior explosivo: 1.3% Lím. superior explosivo: 6%

Presión de vapor: (Reid) 0,0 atm

Densidad de vapor: 3.4 (aire: 1)



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Densidad: 0.98 g/cm³ a 15 °C (ASTM-D-287)
Solubilidad(es): En disolventes del petróleo.
Coeficiente de reparto n-octanol/agua: NP
Temperatura de auto-inflamación: 408 °C
Temperatura de descomposición: NP
Viscosidad: 848 - 1060 cSt a 50 °C (ASTM D-445)
Propiedades explosivas: NP
Propiedades comburentes: NP

9.2 Información adicional

Tensión Superficial: 25 dinas/cm a 25 °C
Hidrosolubilidad: Muy baja.
Punto de fluidez: 27 °C Máx. Calor de combustión: -18524 Btu/Lb(ASTM-D-240) Azufre: 3.5% máx. (ASTM D-4294)

SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1. **Reactividad:** NP

10.2. **Estabilidad química:** Material combustible. Velocidad de combustión: 4 mm/min.

10.3. **Posibilidad de reacciones peligrosas:** Sustancias oxidantes fuertes.

10.4. **Condiciones que deben evitarse:** Exposición a llamas, calor o electricidad estática.

10.5. **Materiales incompatibles:** NP

10.6. **Productos de descomposición peligrosos:** CO₂, H₂O, CO (por combustión incompleta). También puede producir SO_x. Por descomposición térmica pueden emitirse sustancias irritantes o tóxicas. Trazas de sulfuro de hidrógeno se pueden producir por descomposición térmica.

SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

11.1. Información sobre los efectos toxicológicos

La información toxicológica facilitada resulta de la aplicación de los anexos VII a XI del reglamento 1907/2006 (REACH).

Toxicidad aguda: Nocivo en caso de inhalación.

Corrosión o irritación cutáneas: NP

Lesiones o irritación ocular graves: NP

Sensibilización respiratoria o cutánea: NP

Mutagenicidad en células germinales: NP



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Carcinogenicidad: Puede provocar cáncer. Clasificación IARC: Grupo 2B (El agente es posiblemente carcinogénico para el hombre).

La clasificación del producto se corresponde con la comparación de los resultados de los estudios toxicológicos realizados con los criterios que figuran en el Reglamento (CE) nº 1272/2008 para los efectos CMR, categorías 1A y 1B.

Toxicidad para la reproducción: Se sospecha que daña al feto.

Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única: NP

Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición repetida: Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.

Peligro de aspiración: NP

SECCIÓN 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

- 12.1. **Toxicidad:** Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos. Los vertidos crean una película sobre la superficie del agua evitando la transferencia de oxígeno.
- 12.2. **Persistencia y degradabilidad:** El petróleo flota en el agua y presenta un daño físico potencial.
- 12.3. **Potencial de bioacumulación:** No presenta problemas de bioacumulación o incidencia en la cadena alimenticia trófica.
- 12.4. **Movilidad en el suelo:** Los factores que contribuyen a la movilidad de producto son la solubilidad en agua, adsorción en el suelo y la biodegradación.
- 12.5. **Resultados de la valoración PBT y mPmB:** La sustancia no cumple todos los criterios específicos que se detallan en el Anexo XIII o no permite realizar una comparación directa con todos los criterios del Anexo XIII, pero sin embargo, se señala que la sustancia no presentaría todas estas propiedades y la sustancia no se considera un PBT/vPvB.
- 12.6. **Otros efectos adversos:** NP

SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

13.1. Métodos para el tratamiento de residuos

Eliminación: Los materiales muy contaminados se deben incinerar. Incineración. Los menos contaminados pueden ser depositados en vertederos controlados. Remitirse a un gestor autorizado.

Manipulación: Los materiales contaminados por el producto presentan los mismos riesgos y necesitan las mismas precauciones que el producto y deben considerarse como residuo



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

tóxico y peligroso. No desplazar nunca el producto a drenaje o alcantarillado.

Disposiciones: Los establecimientos y empresas que se dediquen a la recuperación, eliminación, recogida o transporte de residuos deberán cumplir la ley 27314, ley general de residuos sólidos, su reglamento D. S. 057-2004-PCM y las normas sectoriales y locales específicas y las disposiciones vigentes del D. S. 015-2006-EM relativo a la protección ambiental en las actividades de hidrocarburos u otras disposiciones en vigor.

SECCIÓN 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

14.1. **Número ONU:** UN 1268

|| 14.2. **Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas:**
DESTILADOS DE PETRÓLEO, N. E. P. O PRODUCTOS DE PETRÓLEO, N. E. P.
(PELIGROSO PARA EL MEDIOAMBIENTE)

|| 14.3. **Número de identificación de peligro:** 30

14.4. **Grupo de embalaje**

|| **ADR/RID:** Clase 3. Código de clasificación: F1. Grupo de embalaje: III. Código de restricción en túneles: D/E.

|| **IATA-DGR:** Clase 3. Grupo de embalaje: III. DESTILADOS DE PETRÓLEO, N. E. P.

|| **IMDG:** Clase 3. Grupo de embalaje: III.

14.5. **Peligros para el medio ambiente**

|| **ADR/RID:** Peligroso para el medioambiente.

|| **IATA-DGR:** Peligroso para el medioambiente.

|| **IMDG:** Contaminante del mar.

14.6. **Transporte a granel con arreglo al anexo II del convenio Marpol 73/78 y del código IMSBC**

|| No tiene categoría asignada para código IMSBC.

14.7. **Precauciones particulares para los usuarios**

|| Producto estable a temperatura ambiente.

2. HOJA DE SEGURIDAD GLP

	HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD (MSDS) DEL GLP (GAS LICUADO DE PETRÓLEO)	Fecha de actualización: 06 Agosto 2018
		Revisión: 08
		Página: 1 de 8

1. PRODUCTO / IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Nombre comercial	: GAS LICUADO DE PETRÓLEO
Nombre químico	: PROPANO + BUTANO
Fórmula química	: C ₃ H ₈ + C ₄ H ₁₀
Familia química	: Hidrocarburos de petróleo
Tipo de aplicación	: Combustible
Código Naciones Unidas	: UN 1075
Otros nombres	: GAS LP, GLP, LPG
Empresa	: LIMA GAS S.A.
Dirección	: Calle A N°149, Zona 7, Fundo Bocanegra Callao – Perú
Email	: www.limagas.com
Teléfono de Oficinas	: (01) 215-9300
Central de Pedidos	: (01) 634-0000
Teléfono de emergencia	: 0800-00580

2. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

El Gas Licuado de Petróleo está constituido por una mezcla de hidrocarburos volátiles, principalmente de tipo propano y butano.

MATERIAL	NUMERO CAS	VOLUMEN (Aprox.)	LEP (Límite de Exposición Permissible)
Propano	74-98-6	50 – 70,0 %	1000 ppm
Butano	106-97-8	50 – 30,0 %	800 ppm
GLP	68476-85-7	100 %	900 ppm
Etil-Mercaptano (Odorizante)	75-08-1	14 ppm a 20 ppm	0,5 ppm

3. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

EL Gas Licuado de Petróleo es un combustible que a condiciones normales de temperatura y presión es altamente inflamable.

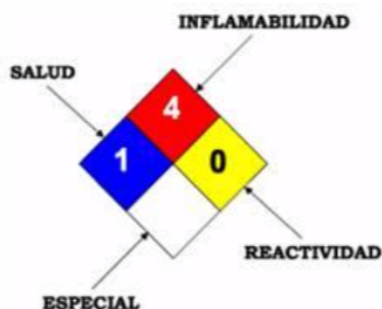
Es almacenado y comercializado en estado líquido, cuando es liberado al ambiente ocurre una rápida evaporación y puede formar una mezcla explosiva con el aire.

Se advierte que en altas concentraciones en el ambiente (más de 900 ppm), el gas licuado de petróleo puede causar asfixia, debido a que diluye el oxígeno disponible para respirar.

La clasificación de riesgos según la NFPA 704 (National Fire Protection Association) es:

	HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD (MSDS) DEL GLP (GAS LICUADO DE PETRÓLEO)	Fecha de actualización: 06 Agosto 2018
		Revisión: 08
		Página: 2 de 8

CÓDIGO DE COLORES		CATEGORÍA DE RIESGOS
Azul	Riesgo a la Salud	0 = Mínimo
Rojo	Riego de Inflamabilidad	1 = Ligero
Amarillo	Riesgo de Reactividad	2 = Moderado
Blanco	Riesgo Específico	3 = Alto
		4 = Muy alto



3.1 Efectos potenciales en la salud

- **Inhalación:** Los efectos de una exposición prolongada pueden causar dolor de cabeza, náuseas, fatiga, descoordinación, somnolencia y depresión del sistema nervioso central. La presencia de altas concentraciones de GLP en el aire puede ocasionar desvanecimiento y asfixia debido a que desplaza el oxígeno del ambiente. En caso de fuego no inhale el humo o vapor. Muévase en dirección del viento.
- **Contacto con la piel:** El contacto con el líquido ocasiona quemaduras por frío y lesión cutánea por congelamiento.
- **Contacto con los ojos:** El contacto con el GLP en estado vapor en alta concentración o estado líquido puede provocar daño físico, quemadura fría, irritación y/o congelamiento del tejido fino.
- **Ingestión:** No se espera que la ingestión ocurra en uso normal. El líquido causa quemaduras por congelamiento en la boca y garganta.

4. PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación:** Trasladar inmediatamente a la persona afectada hacia un ambiente con aire fresco. Administrar respiración artificial o resucitación cardiopulmonar (RCP) de ser necesario y obtener atención médica de inmediato.
- **Contacto con la Piel:** Retirar inmediatamente la ropa contaminada, posteriormente, lavar las áreas expuestas con abundante agua, por lo menos 15 minutos. Si se tienen áreas con lesiones por congelamiento utilizar agua tibia. No usar calentamiento en seco o agua caliente. Obtener atención médica de inmediato.

	HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD (MSDS) DEL GLP (GAS LICUADO DE PETRÓLEO)	Fecha de actualización: 06 Agosto 2018
		Revisión: 08
		Página: 3 de 8

- **Contacto con los Ojos:** Lavar cuidadosamente con abundante agua durante 15 minutos como mínimo; cubrir con gasa estéril. Si la irritación persiste repetir el lavado. Recibir atención médica de inmediato.
- **Ingestión:** La ingestión de este producto no se considera como una vía potencial de exposición. No inducir al vómito y obtener atención médica de inmediato.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

- **Instrucciones Especiales para el combate de Incendios:** Evacuar al personal del área de peligro hacia una zona segura y a una distancia conveniente. Personal capacitado, entrenado y protegido (equipo contra incendio) puede atender la emergencia. Detener la fuga antes de intentar extinguir el fuego; si no es posible detener la fuga, dejar que el producto se consuma de manera controlada utilizando agua en forma de rocío para enfriar los tanques expuestos. Utilizar medios adecuados para extinguir el fuego y ubicarse a favor del viento.
- **Medios de Extinción:** Polvo químico seco (ABC o BC) y CO₂ (dióxido de carbono) el agua se utiliza para enfriamiento (agua pulverizada). Apague el fuego, solamente después de haber bloqueado la fuente de fuga.
- **Equipo de protección especial:** Para fuegos en áreas cerradas, los bomberos deben utilizar el equipo respiratorio autónomo.
- **Precauciones Especiales:** Los recipientes con GLP presentan riesgos de explosión (Bleve) cuando son expuestos a excesivo calor, es necesario utilizar agua en forma de rocío o niebla para refrigerar y mantener la temperatura de la superficie del recipiente. Los vapores del GLP pueden trasladarse a fuentes alejadas de la ignición por acción del viento, además, pueden concentrarse en los pisos y áreas bajas con riesgo de formar mezclas explosivas.
- **Otras Medidas:** La extinción de fuego de grandes proporciones sólo debe ser realizada por personal especializado. Si un tanque, carro de ferrocarril o auto tanque está involucrado en un incendio, aléjese a una distancia a la redonda a 1600 metros.

6. RESPUESTA EN CASO DE DERRAMES O FUGAS

- Evacuar o aislar el área de peligro*.
- Eliminar toda fuente de ignición (no fumar, no usar bengalas, chispas o llamas en el área de peligro). Sólo se pueden usar equipos a prueba de explosión.
- Detenga la fuga, en caso de poder hacerlo sin riesgo.
- Si es posible, voltee los contenedores que presentan fugas para que escapen los gases en lugar de líquido.
- Use rocío de agua para reducir los vapores; o desviar la nube de vapor a la deriva.
- No ponga agua directamente al derrame o fuente de la fuga.
- Prevenga la expansión de vapores a través de las alcantarillas, sistemas de ventilación y áreas confinadas.
- Aislé el área hasta que el gas se haya dispersado.

*Derrames o Fugas (mayor a 208 litros de líquido): Considere una evacuación inicial a favor del viento de por lo menos a una distancia de 800 metros de radio.

	HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD (MSDS) DEL GLP (GAS LICUADO DE PETRÓLEO)	Fecha de actualización: 06 Agosto 2018
		Revisión: 08
		Página: 4 de 8

7. PRECAUCIONES PARA EL MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Precauciones en el Manejo:** Usar un equipo de protección personal y no comer, beber o fumar durante su manipulación; posteriormente proceder a la higiene personal.

GLP a granel: Antes de realizar el procedimiento de carga y/o descarga del producto, realizar las conexiones a tierra para la descarga de la electricidad estática. Usar sistemas a prueba de chispas y explosión durante la operación. Tanto la instalación y la unidad granelera deben estar debidamente autorizadas por la autoridad competente. Los tanques de GLP deben ser certificados bajo la norma ASME e inspeccionados según norma API 510.

GLP envasado en cilindros: Los recipientes de GLP deben cumplir con la NTP 350.011-1 (cilindros 05, 10, 15 y 45 Kg) y DOT 4E240 (cilindros M15) y deben ser transportados en unidades autorizadas para ello, la posición adecuada del recipiente es con la válvula hacia arriba y se debe evitar en todo momento el impacto o choque de los recipientes. Verifíquese que la válvula del recipiente está cerrada cuando se conecta o se desconecta un cilindro.

En cualquiera de las operaciones (granel o envasado) debe asegurar que en el ambiente no haya presencia de fuego y/o cualquier condición que pueda generar una chispa (punto de ignición).

Si nota alguna deficiencia o anomalía en la válvula de servicio, comuníquese con la empresa. Nunca inserte objetos dentro de la válvula de alivio de presión y/o servicio.

Si detecta el olor característico del GLP, evacúe al personal, asegúrese de no generar alguna chispa y ventile el lugar.

Si evidencia un silbido es probable que haya una fuga de GLP del recipiente, contacte con personal especializado de la empresa para recibir la ayuda necesaria. Para la detección de fuga puede hacer uso de agua jabonosa.

- **Precauciones en el Almacenamiento:** Almacenar en recipientes que cumplen con los requisitos de la normatividad vigente y alejado de materiales que no sean compatibles; almacenar en áreas ventiladas, protegidas del fuego abierto, calor u otra fuente de ignición. Las áreas de almacenamiento deben estar debidamente señalizadas. No almacene los recipientes con otros productos, los recipientes vacíos conservan ciertos residuos, por lo que deben tratarse como si estuvieran llenos. El producto no debe ser almacenado en instalaciones ocupadas permanentemente por personas. Los cilindros que contienen al producto deben colocarse en forma vertical (con respecto a la válvula). Los recipientes de GLP deben estar protegidos de cualquier condición que pueda incrementar la corrosión natural del recipiente (Ej. No almacenar directamente sobre suelos natural).
- **Otras precauciones:** No almacene cerca a agentes oxidantes. Aísle del fuego, llama abierta y todas las fuentes de chispa, incluyendo la electricidad estática. Se debe cumplir las distancias desde el área de almacenamiento a líneas eléctricas de acuerdo a normativa legal vigente. No deben utilizarse lentes de contacto cuando se trabaje con este producto. En lugares que se trabaje directamente con GLP o se detecte una fuga de este se deben emplear en todo momento equipos a prueba de explosión.

	HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD (MSDS) DEL GLP (GAS LICUADO DE PETRÓLEO)	Fecha de actualización: 06 Agosto 2018
		Revisión: 08
		Página: 5 de 8

- **Observación:** Es necesario que el envasado del producto en cilindros, la limpieza, inspección y mantenimiento de los tanques se realicen siguiendo estrictamente un procedimiento implementado.

8. CONTROLES CONTRA EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

- **Control de Ingeniería:** Detectores continuos de presencia de gases combustibles o de atmósfera explosiva dotados con alarmas sonoras; sistemas de ventilación e infraestructura adecuada en áreas donde se almacena o manipula el producto. Duchas y lavajos cerca del lugar de trabajo.
- **Protección Respiratoria:** No es necesaria cuando existan condiciones de ventilación adecuadas; a altas concentraciones del producto en el aire, se requiere de un equipo de respiración auto contenido.
- **Protección de Ojos:** Es recomendable el uso de gafas de seguridad cuando se realice la manipulación de GLP.
- **Protección de la Piel:** Ropa de protección de algodón o ignífuga, guantes de cuero, neopreno o nitrilo y calzado de seguridad antiestático resistente a productos químicos.
- **Otras protecciones:** Duchas en el área de trabajo.

9. PROPIEDADES FÍSICAS / QUÍMICAS

Peso Molecular	: 50.80
Gravedad específica a 15,6/15,6°C	: 0,50 – 0,56 aprox.
Punto de inflamación, °C	: -104 aprox.
Punto de ebullición, °C	: (-42.0) a (-0,51)
Presión a vapor a 37,8°C, PSI	: 115 a 208 PSI
Límites de inflamabilidad, % vol. en aire	: De 2.2 a 9.5 aprox.
Temperatura de autoignición, °C	: 466 °C (870.8 °F)
Poder calorífico	: 10800 – 11800 Kcal/kg
Solubilidad en Agua @ 20 °C	: Insoluble
Características	: Gas que no tiene color, no tiene sabor, no es corrosivo, no es toxico ni venenoso, es mas pesado que el aire; y no tiene olor, motivos por el cual se agrega un odorante para facilitar la detección de fugas.

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

- **Estabilidad:** Estable en condiciones normales de presión y temperatura durante el almacenamiento.
- **Condiciones a Evitar:** Manténgalo alejado de fuentes de ignición, calor y agentes oxidantes fuertes
- **Incompatibilidades:** Reacciona con ácido nítrico, ácido sulfúrico, peróxidos, cloro, flúor y oxidantes fuertes. Ataca algunas clases de plásticos, caucho y revestimientos.
- **Compatibilidad de Material:** Es compatible con los aceros vidrio, cobre, pvc, hdpe y otros. Es incompatible con sustancias oxidantes como cloro, hipoclorito de sodio, peróxidos, ácidos fuertes, etc.

	HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD (MSDS) DEL GLP (GAS LICUADO DE PETRÓLEO)	Fecha de actualización: 06 Agosto 2018
		Revisión: 08
		Página: 6 de 8

- **Productos de la Combustión:** Los productos de la combustión son: dióxido de carbono y agua.
- **Productos peligrosos de la combustión:** En condiciones de combustión incompleta (falta de aire o oxígeno) se producirá monóxido de carbono (gas tóxico) y se desarrollarán concentraciones que pueden crear un peligro para la salud.
- **Polimerización peligrosa:** No polimeriza.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

El producto no es tóxico, en caso de fugas y se genere ambientes con altas concentraciones es un asfixiante simple debido a que puede disminuir la concentración del oxígeno en el aire, sin embargo, tiene propiedades que pueden afectar a la salud conforme a lo indicado en el ítem 3. No se cuenta con información definitiva sobre características carcinogénicas y mutagénicas. Las concentraciones superiores al 10% pueden causar irregularidades cardiacas.

- **Condiciones médicas agravadas por la exposición:** No suministrar epinefrina u otras aminas simpaticomiméticos.
- **Vías de entrada:** La inhalación es la ruta más frecuente de exposición. También por contacto con la piel y ojos del gas licuado.
- **Efectos agudos y crónicos:** El producto es un gas asfixiante simple, debido al desplazamiento de oxígeno del aire. Puede causar efectos adversos sobre el sistema nervioso central. LC50 (butano): 658 g/m³/4h (inhalación) 27.7% Vol. en aire.

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Una de las grandes bondades que presenta el GLP es la de ser un combustible ecológico, ya que es una alta fuente energética baja en carbono y es un gran aliado en la lucha contra el cambio climático y el efecto invernadero.

Dentro de los beneficios ecológicos que se han encontrado cuando se emplea el GLP como combustible se tienen:

- No es tóxico.
- Ayuda a mejorar la calidad del aire interior y exterior.
- La emisión de material particulados es casi nula con el GLP.
- El uso, del GLP en la automoción, reduce la presencia de una serie de gases contaminantes que causan efectos secundarios tanto en la capa de ozono, como en la salud humana, ya que emiten menos NO (Monóxido de Nitrógeno) que el diesel y que la gasolina.
- Debido a su alta volatilidad, el GLP no supone un impacto dañino para el medio ambiente, además, a diferencia de otras fuentes energéticas, no genera residuos. No genera impactos sobre el suelo, agua o acuíferos subterráneos.
- Durante la combustión, el GLP genera menores emisiones de CO₂ que el carbón, la gasolina y el diésel.
- La huella de carbono que deja el GLP es 20% inferior a la del diésel y 50% menos que la del carbón.

Adicionalmente, el GLP puede ser usado junto con las tecnologías de energías renovables que sirve como una fuente de energía limpia, con la ventaja que no depende del clima o la luz, sino que tiene una producción ininterrumpida, limpia y segura.

	HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD (MSDS) DEL GLP (GAS LICUADO DE PETRÓLEO)	Fecha de actualización: 06 Agosto 2018
		Revisión: 08
		Página: 7 de 8

El efecto de una fuga de gas de GLP es local e instantáneo sobre la formación de oxidantes fotoquímicos en la atmósfera. No contiene ingredientes que destruyen la capa de ozono. No está en la lista de contaminantes marinos.

13. CONSIDERACIONES PARA DISPONER DE SUS DESECHOS

Disposición de Desechos: No intente eliminar el producto no utilizado o sus residuos. En todo caso, regréselo al proveedor para que lo elimine apropiadamente. Los tanques o cilindros vacíos deben manejarse con cuidado por los residuos que contienen. El producto residual puede incinerarse bajo control si se dispone de un sistema adecuado de quemado. Esta operación debe efectuarse de acuerdo a las normas nacionales aplicables.

14. INFORMACIÓN SOBRE SU TRANSPORTE

Nombre Comercial	: Gas Licuado de Petróleo
Identificación DOT*	: UN 1075 (UN: Naciones Unidas)
Clasificación de Riesgo DOT*	: Clase 2; División 2.1
Etiqueta de embarque	: GAS INFLAMABLE
Identificación durante su transporte	: Cartel cuadrangular en forma de rombo de 273 mm x 273 mm (10 3/4" x 10 3/4"), con el número de la Naciones Unidas en el centro y la Clase de riesgo DOT en la esquina inferior.
UN 1075	: Número asignado por la Organización de Naciones Unidas y Departamento de Transportes (DOT) al Gas Licuado de Petróleo
DOT	: Department Of Transportation (Departamento de Transportes), USA

UN 1075



No transportar con sustancias explosivas, sólidos inflamables, agentes oxidantes, peróxidos orgánicos, sustancias radiactivas, ni sustancias con riesgos de incendio. Prohibido el transporte en aviones de pasajeros y limitado en barcos de pasajeros.

15. INFORMACION REGLAMENTARIA

Leyes, Reglamentos y Normas: El transporte y comercialización del GLP, está reglamentado por normas dictadas por el Ministerio de Energía y Minas, Ministerio del Interior, el Ministerio de la Producción y la Presidencia del Consejo de Ministros.

	HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD (MSDS) DEL GLP (GAS LICUADO DE PETRÓLEO)	Fecha de actualización: 06 Agosto 2018
		Revisión: 08
		Página: 8 de 8

- Reglamento para la Comercialización del GLP aprobado por Decreto Supremo N° 01-1994 EM y sus modificatorias.
- Reglamento de Seguridad para las Instalaciones y Transportes del GLP aprobado por Decreto Supremo N° 027-1994 EM y sus modificatorias.
- Reglamento de Establecimientos de Venta de Gas Licuado de Petróleo para uso Automotor – Gasocentros aprobado por Decreto Supremo N° 019-1997-EM y modificaciones.
- Reglamento para la protección ambiental en las actividades de hidrocarburos aprobado por Decreto Supremo N° 039-2014-EM y sus modificatorias.
- Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos aprobado por Decreto Supremo N° 043-2007-EM y sus modificatorias.
- Reglamento de las Actividades de Exploración y Explotación de Hidrocarburos DS 032-2004 EM y sus modificatorias.
- NTP 350.011-1 Recipientes Portátiles de 3 Kg, 05 Kg, 10 Kg., 15 Kg. Y 45 Kg de Capacidad para gases licuados de Petróleo. Parte 1. Requisitos de Fabricación.
- NTP 350.011-2 Recipientes Portátiles de 3 Kg, 05 Kg, 10 Kg., 15 Kg. Y 45 Kg de Capacidad para gases licuados de Petróleo. Parte 2. Inspección Periódica y Reparación.
- NTP 321.123 Gas Licuado de Petróleo (GLP). Instalaciones para consumidores Directos y Redes de Distribución.

16. INFORMACIÓN ADICIONAL

Advertencia sobre el Odorante: El GLP tiene un odorante para advertir de su presencia. El más común son el Metil y el Etil Mercaptano.

La intensidad de su olor puede disminuir debido a la oxidación química, adsorción o absorción.

La intensidad del olor puede reducirse después de un largo período de almacenamiento.

Nota: La información y recomendaciones proporcionadas en esta hoja de seguridad es precisa dentro de lo conocido y de acuerdo a la fecha de su elaboración, esta información fue tomada de las respectivas fuentes de abastecimiento que brinda información básica para que el usuario tome los cuidados necesarios a fin de evitar accidentes. Los datos sólo están relacionados con el material específico designado y pueden no ser válido para dicho material en combinación con otros materiales.

Los daños y perjuicios que se deriven del uso de la información contenida en esta hoja de seguridad no serán, bajo ninguna circunstancia, de responsabilidad de LIMA GAS S.A. Es responsabilidad de los usuarios, manejar los productos en forma segura y cumpliendo todas las leyes y regulaciones aplicables.

ANEXO X. DATOS PARA EL BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO Y HORNO TÚNEL

Horno de Tiro Invertido:

Cantidad de CO₂ emitido:

$$\frac{0.51 \text{ tonCO}_2\text{eq}}{\text{ton ladrillo}} * 37.73 \text{ ton ladrillo cocido} = 19.24\text{ton CO}_2$$

Horno Túnel:

Cantidad de CO₂ emitido:

$$\frac{0.077 \text{ tonCO}_2\text{eq}}{\text{ton ladrillo}} * 37.73 \text{ ton ladrillo cocido} = 2.905\text{ton CO}_2$$

Cantidad de Combustible usado para producir 37.73 ton ladrillo cocido:

$$\frac{1120 \text{ gal GLP}}{90.25 \text{ ton ladrillo}} * 37.73 \text{ ton ladrillo} = 468 \text{ gal CO}_2$$

Tiempo empleado para producir 37.73 ton ladrillo cocido:

$$\frac{2180 \text{ min}}{90.25 \text{ ton ladrillo}} * 37.73 \text{ ton ladrillo} = 911.3729 \text{ min}$$

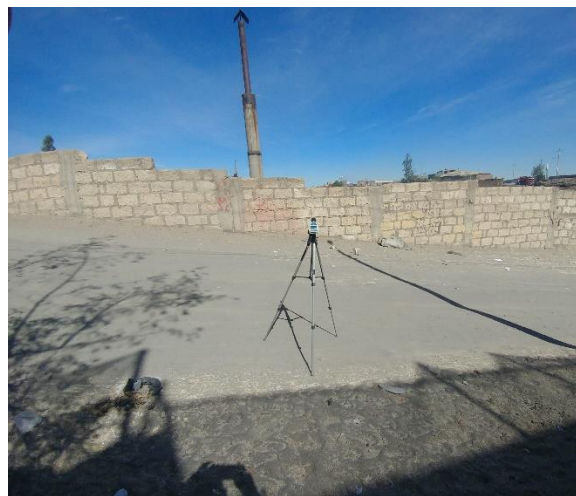
$$\frac{1\text{h}}{60 \text{ min}} * 911.3729 \text{ min} = 15.2 \text{ h}$$

ANEXO XI. PANEL FOTOGRÁFICO

MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL



EMRA1: Exterior de la puerta de ingreso



EMRA2: Calle lateral



EMRA3: Costado de la planta (Límite con
torrentera

MONITOREO DE RUIDO OCUPACIONAL



EMRO1: Planta de producción



EMRO2: Área de molienda



EMRO3: Área de almacenamiento de materia
prima



EMRO4: Área de almacenamiento de
producto terminado

MONITOREO DE LA CALIDAD DE AIRE



EMCA1: Techo oficinas administrativas



EMCA2: Área de producto terminado

Emisiones chimenea horno túnel

MEDICIÓN DE COMBUSTIBLES



Medición de consumo del R500 mediante el método de la varilla



Medición del consumo de GLP de los 6 balones con el medidor de porcentajes, cada uno con capacidad de almacenamiento de 1000 galones

ÁREAS DEL PROCESO PRODUCTIVO



Área de almacenamiento de materias primas



Área de molienda



Área de extrusión



Área de secado



Encendido manual de los quemadores del
Horno de Tiro Invertido



Panorama de los 4 Hornos de Tiro Invertido y
chimenea



Carga manual mediante carretillas del
Horno de Tiro Invertido



Panorama de los 4 Hornos de Tiro Invertido



Llenado del Horno túnel mediante vagones



Área de cocción con el Horno túnel y los rieles de carga y producto terminado



Descarga de vagones de ladrillo cocido del Horno Túnel



Riel de carga de producto terminado



Zona de almacenamiento de producto terminado



Zona de carga para transporte de producto terminado