CORPORACIÓN
AMBIENTAL EMPRESARIAL

www.caem.org.co

CONVENIO DE ASOCIACIÓN No. SMEG-CDCASO-035-2023 CELEBRADO ENTRE EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA - SECRETARÍA DE MINAS, ENERGÍA Y CORPORACIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL (CAEM).

Guía técnica para la construcción de hornos fuego dormido adaptado para briquetas



29
Noviembre
2023

Una filial de
caem CORPORACIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL
Cámara de Comercio de Bogotá

Corporación Ambiental Empresarial - CAEM

Henry Garay Sarasty
Presidente Ejecutivo

Víctor Andrés García Bustos
Director Línea de Energía Sostenible.

Laura Vargas
Profesional Junior - Línea de Energía Sostenible.

José Mauricio Venegas
Profesional Junior Línea de Energía Sostenible.

Pilar Santana
Consultora Línea de Energía Sostenible.

Christian Camilo Aguilar Villarreal
Consultor Línea de Energía Sostenible.

Todos los derechos reservados. No se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización de los titulares de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción de este documento para fines comerciales.

Contenido

Presentación 6

1. Identificación de hornos 7

2. Caracterización de horno pruebas de validación tecnológica 12

3. Medición isocinética y balance de masas y energía 22

3.1 Procedimiento del muestreo 22

3.1.1 Requerimientos mínimos en el muestreo de parámetros 24

4. Resultados 33

5. Guía de construcción y operación del horno. 36

5.1. Pasos para la construcción del horno 36

5.1.1. Materiales 37

5.1.2. Señalizar la base 37

5.1.3. La mezcla 37

5.1.4. Acabado del horno 37

5.1.5. El Cimiento 38

5.1.6. La bóveda o cúpula 40

5.1.7. El Emparrillado 41

5.1.8. fachada 42

5.1.9. Chimenea 44

5.1.10. Caldeo 45

6. Características técnicas 47

6.1. Proceso de quema 48

6.1.1. Rendimiento 51

6.1.2. Combustible y energía 51

6.2. Potencialidades del Horno 52

6.2.1. Potencial de replica 53

6.2.2. Potencial de mitigación 53

7. Conclusiones 54

8. Bibliografía 55

9. Anexos 56

Listado de Imagenes

Imagen 1. Localización municipio de Chivatá (Boyacá) 7
Imagen 2. Localización de Ladrillera El Virrey 8
Imagen 3. Ladrillera El Virrey 9
Imagen 4. Visita ladrillera El Virrey 10
Imagen 5. Patio de Secado Ladrillera El VIrrey 11
Imagen 6. Mediciones en el horno. 17
Imagen 7. Carga de briquetas al horno 19
Imagen 8. Residuo de material cocinado 20
Imagen 9. Ladrillera El. Virrey 30
Imagen 10. Horno Colmena Planta Escala 1:100 39
Imagen 11. Planta Cubierta escala 1:100 (Ladrillera El Virrey) 40
Imagen 12. Vista planta del Emparrillado escala 1:100 41
Imagen 13. Fachada occidental escala 1:100. 42
Imagen 14. Corte B escala 1:100. 42
Imagen 15. Fachada del horno 43
Imagen 16. Puerta de Horno 43
Imagen 17. Fachada norte escala 1:100. 44
Imagen 18. Chimenea del horno 45
Imagen 19. Fachada sur y corte, entrada de caldeo del horno 45
Imagen 20. Área de caldeo 46
Imagen 21. Horno Colmena Ladrillera El Virrey 47

Listado de Tablas

Tabla 1. Costos promedio de energéticos en Ladrillera El Virrey 11
Tabla 2. Análisis energéticos de entrada 12
Tabla 3. Índices de consumo 14
Tabla 4. Balance de masas 17
Tabla 5. Masa de briquetas 18
Tabla 6. Masa total por carga de material 19

Tabla 7. Métodos usados para la medición directa de emisiones 23
Tabla 8. Localización del sitio de medida en el Horno Colmena fuego dormido 24
Tabla 9. Equipos utilizados en la toma de muestras 25
Tabla 10. Características de los equipos usados 27
Tabla 11. Equipos utilizados en recuperación de muestras 27
Tabla 12. Especificaciones de la fuente 28
Tabla 13. Estándar de emisión para industrias de fabricación de productos de cerámica ... 31
Tabla 14. Carga y composición de los gases emitidos por el Horno Colmena de Fuego Dormido 33
Tabla 15. Condiciones en la chimenea del Horno Colmena de fuego dormido 33
Tabla 16. Resultados de MP, NOx y SO_2 34
Tabla 17. Cálculo de la altura para el horno colmena de fuego dormido 34
Tabla 18. Información consolidada para el RUA 35
Tabla 19. Emisiones generadas en ladrillera El Virrey 51
Tabla 20. Índices de consumo ladrillera El Virrey 51
Tabla 21. Análisis económico - financiero 53

Presentación

En el marco del convenio de asociación SMEG-CDCASO-035-2023 celebrado entre el departamento de Cundinamarca – Secretaria de Minas y Energía y la Corporación Ambiental Empresarial (CAEM), el cual tiene como objeto "*Aunar esfuerzos técnicos y económicos para realizar la fase de validación técnica y energética para la sustitución del carbón por briquetas como combustible para los hornos de cocción de ladrillos de los municipios de Nemocón, Tausa y Cogua"*.

Así las cosas, la Corporación Ambiental Empresarial (CAEM) presenta en el siguiente documento una guía técnica para la construcción de hornos de fuego dormido adaptado para briquetas, cuyo objetivo es divulgar al público y el sector ladrillero buenas prácticas para la producción sostenible, y que puede servir como ejemplo para adaptar a las ladrilleras del área rural de Cundinamarca

Con esta guía queremos presentar los beneficios, el procedimiento y las condiciones técnicas necesarias para adoptar un horno de fuego dormido tipo Colmena que fue adaptado para su funcionamiento con briquetas.

Desde CAEM esperamos que sea de utilidad y permite la transferencia de conocimiento y la divulgación de diferentes tecnologías sustentables que se desarrollan en la región y que pueden ser beneficiosas para los empresarios del sector ladrillero.

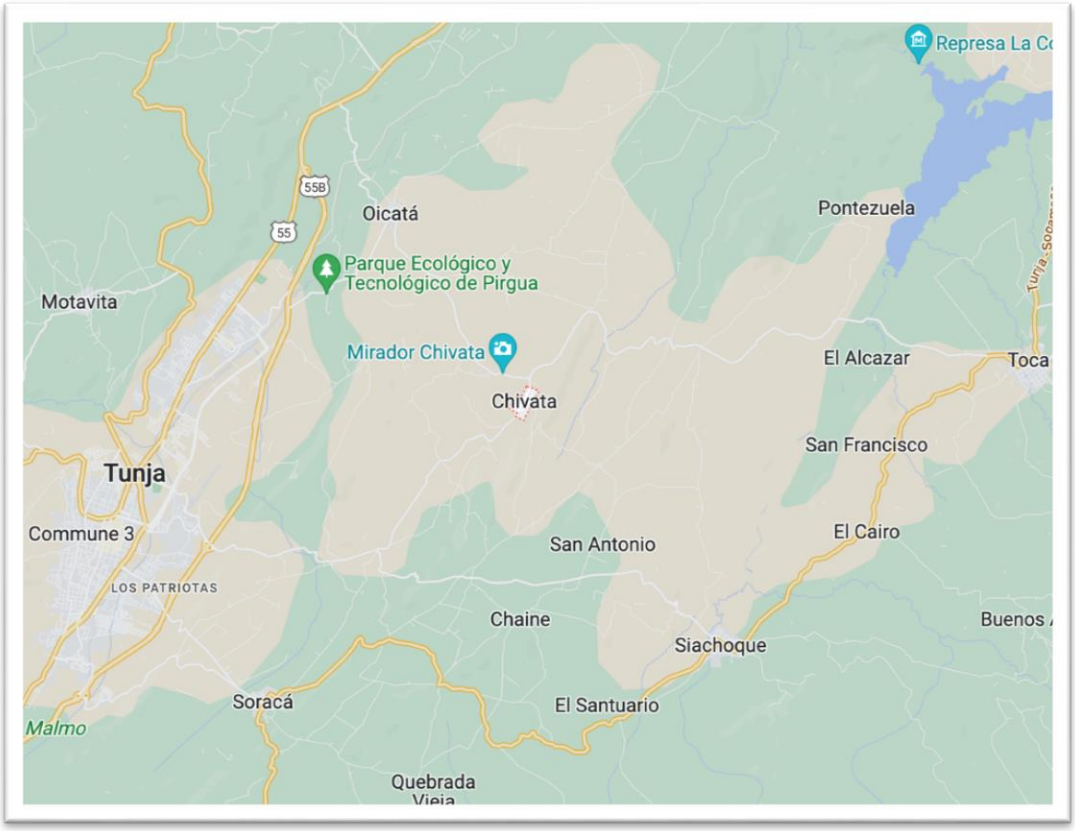
ENTREGABLE No 3: Guía técnica para la construcción de hornos fuego dormido adaptado para briquetas

1. Identificación de hornos

En el Departamento de Boyacá, se ubicaron los Municipios de Sáchica, Sogamoso y Chivata, en los cuales se encuentran ubicados la mayor parte de hornos de fuego dormido. El 22 de septiembre de 2023, la corporación ambiental empresarial – CAEM, la secretaria de minas y energía y gas de la Gobernación y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca- CAR, realizaron una visita a campo, para la identificación de los posibles hornos modelo y su implementación en los municipios de Cogua, Nemocón y Tausa (Cundinamarca).

La corporación decidió realizar un levantamiento topográfico del horno Colmena de fuego dormido que se encuentra operando con briquetas en el departamento de Boyacá en el municipio de Chivata, en la vereda de Ricayá Sur, la cual se localiza a unos 12 km aproximadamente de la ciudad de Tunja.

Imagen 1. Localización municipio de Chivatá (Boyacá)



Fuente: Google maps, 2023.

Este municipio se destaca por tener una extension total de 56 km^2, de los cuales 20 km^2 corresponden al área urbana y 36 km^2 a territorio rural, se encuentra localizado a 2.903 m.s.n.m y posee una temperatura media de 16 grados[1]. La vereda de Ricayá posee un total de 939 predios los cuales corresponden al 23,32% del area rural del municipio.

La economia de este municipio esta basada en la agricultura, la ganaderia, la mineria, la construccion y el comercio artesanal. La vocación primaria de Chivatá se concentra principalmente en actividades mineras y agropecuarias. Precisamente la mineria comprende un segmento importante, de acuerdo a la información presentada en la actualización del Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio (EOT)[2], es evidente que los mayores niveles de produccion se presentan por la extraccion de carbon, siendo una de las materias primas mas destcadas, seguido de la arcilla cerámica, arcilla ferruginosa y arcilla miscelánea.

Por otro lado, se destaca que el desarrollo de la actividad minera en este municipio presenta serias dificultades en temas de titularidad y seguridad jurídica de las operaciones mineras, lo cual representa una debilidad estructural de la actividad económica que afecta la productividad del sector, situación que no es nada ajena a los municipios de Nemocón, Tausa y Cogua localizados en el departamento de Cundinamarca.

Imagen 2. Localización de Ladrillera El Virrey



Fuente: Google maps, 2023.

[1] Generalidades del Municipio. https://www.chivata-boyaca.gov.co/municipio/informacion-general-623731
[2] Esquema de Ordenamiento Territorial https://chivataboyaca.micolombiadigital.gov.co/sites/chivataboyaca/content/files/000847/42317_1-dt-diagnostico_alcaldia_1.pdf

En la vereda de Ricayá sur se encuentra localiza la unidad productiva denominada Ladrillera El Virrey, cuyos administradores son los señores Juan Carlos López y Diego López conocidos como los hermanos López en el sector ladrillero. Las coordenadas de la ladrillera son las siguientes: 5.5633 N 73.3008 W.

Imagen 3. Ladrillera El Virrey



Fuente: CAEM, 2023.

La unidad productiva cuenta con 16 trabajadores, de los cuales 12 son hombres 4 son mujeres, estos se encuentran vinculados laboralmente a traves de un contrato a termino fijo, sus labores son completamente operativas y trabajan en dos turnos laborales 5:00 am – 12:30 am, y 1:00 pm – 9:00 pm.

Durante el año 2023, no se han presentado ausentismos laborales aunque los administradores manifiestan no contar con un refgistro de seguimiento; aun asi, tienen presente que una causa de ausentismo durante el ultimo año estuvo asociada a una licencia de maternidad. En la actualidad la ladrillera no cuenta con registros de incidentes.

Con respecto al cumplimiento de Elementos de Proteccion Personal (EPPs), los trabajadores hacen uso diario de guantes, casco, calzado de seguridad, tapabocas industrial y ropa de protección, manifiestan que no se encuentran expuestos a elevadas temperaturas o superfecies calientes, tampoco tienen contacto con material tóxico nocivo para la salud.

Estas precauciones se toman en consideración debido a que los colaboradores están expuestos a varios riesgos identificados por el propietario, como superficies elevadas o temperaturas altas, el manejo o contacto con sustancias peligrosas o tóxicas, y la realización de movimientos repetitivos durante sus labores.

La ladrillera cuenta con un título minero a nombre del titular Luz Mila Castro y un numero de placa ICQ – 082011, la empresa no ha sido sancionada o requerida por la autoridad minera o la autoridad ambiental en los últimos 5 años.

Imagen 4. Visita ladrillera El Virrey



Fuente: CAEM, 2023.

En relación con el tema ambiental, la empresa no cuenta con una licencia ambiental, no ha sido objeto de multas o sanciones por parte de la autoridad competente. La unidad productiva se abastece de agua a través de los reservorios para el proceso de mezcla y humectación de la arcilla y la vivienda se abastece de agua de la empresa de acueducto del municipio. En términos generales, la unidad productiva no dispone de indicadores asociados al consumo del recurso hídrico, ni genera aguas industriales que requieran tratamiento específico. Además, no lleva a cabo capacitaciones relacionadas con la importancia de la gestión del recurso hídrico con sus colaboradores.

Imagen 5. Patio de Secado Ladrillera El VIrrey



En cuanto a la gestión de residuos, el empresario señala que el 100% de los residuos generados son aprovechables, ya sea a través del reciclaje o la reutilización. Estos residuos provienen de los procesos de transformación de la materia prima o como resultado de productos no conformes. Sin embargo, el empresario afirma no estar al tanto de los costos asociados con la disposición de estos residuos, y tampoco ha implementado un plan de gestión de residuos específico relacionado con su proceso productivo. Por otro lado, menciona que los residuos son enviados a rellenos sanitarios y/o plantas de tratamiento. Es importante destacar que no se realizan jornadas de capacitación sobre esta temática.

En relación a los energéticos que usan, se encontró que la unidad productiva consume briquetas (78%) y carbón (22%). No lleva un registro de la cantidad de litros o metros cúbicos de agua que consume mensualmente en su proceso; por lo tanto, tampoco cuentan con el costo asociado. En la siguiente tabla se presentan los costos promedio proporcionados por el empresario.

Tabla 1. Costos promedio de energéticos en Ladrillera El Virrey

No usa	$220.000 Ton	720 gal/mes
Energía Eléctrica	Briquetas	ACPM

Fuente: CAEM, 2023.

Las briquetas son suministradas por Coalbriquetas, localizado en la misma vereda, el producto que suministran se encuentra compuesto por 80% de finos de coque y un 20% de arcilla, su proceso de producción requiere de 10 días de secado para obtener las condiciones adecuadas de producto.

En el siguiente capítulo se aborda la caracterización realizada en la unidad productiva.

2. Caracterización de horno pruebas de validación tecnológica

Durante los días 02 y 03 de noviembre se realizó el levantamiento y validación de información energético-productiva de la empresa, a continuación, se presentan los resultados del levantamiento de información realizado.

15	2
Tiempo de ciclo (días)	Quema al mes (Ciclos)

Durante la jornada se tomaron los datos relacionados con el combustible utilizado para las quemas, en la siguiente tabla se presentan los resultados consolidados.

Tabla 2. Análisis energéticos de entrada

Equivalente energético total de entrada

Dimensiones briqueta		
Largo	21	cm
Ancho	11,5	cm
Alto	9	cm
Volumen	0,0021735	m3

Peso promedio (Kg)			
Muestra 1	2,47	**Muestra 4**	2,42
Muestra 2	2,52	**Muestra 5**	2,57
Muestra 3	2,35	**Muestra 6**	2,54
Peso promedio		2,48	Kg

Densidad briqueta	1.140,25	Kg/m3

Cantidad de briquetas cargadas para quema	9875	Unidades
Poder energética briqueta muestra	20,73	MJ/Br
	8,36	MJ/Kg Br
Cantidad de carbón cargado para quema	7	Ton
Poder energético Kg/Carbón (LHV)	35,206	MJ/Kg

Equivalente energético total de entrada		
Energía neta briquetas	204.708,75	MJ
Energía neta Carbón	246.442,00	MJ
Energía total en carga del horno	451.150,75	MJ

Para el valor del poder calorífico de la briqueta se toma el menor valor de las 3 pruebas de laboratorio realizadas (20,73 MJ)

Fuente: CAEM, 2023.

La tabla detalla minuciosamente el equivalente energético total de entrada y las características de las briquetas utilizadas en el proceso. Con dimensiones de 21 cm de largo, 11,5 cm de ancho y 9 cm de alto, cada briqueta tiene un volumen de 0,0021735 m^3 y una densidad de 1.140,25 Kg/m^3. El peso promedio de las briquetas se establece en 2,48 Kg, basado en seis muestras individuales.

11,5 cms	21 cms	9 cms	0,0021735 m^3
Ancho Briqueta	Largo de briqueta	alto de briqueta	Volumen

En el proceso de quema, se cargan 9875 unidades de briquetas, cada una con un poder energético promedio de 20,73 MJ por briqueta o 8,36 MJ/Kg. Además, se carga un total de 7 toneladas de carbón, con un poder energético de 35,206 MJ/Kg. El análisis de energía neta revela que las briquetas contribuyen con 204708,75 MJ, mientras que el carbón aporta 246.442,00 MJ, sumando un total de 451.150,75 MJ para la carga total del horno.

Es fundamental destacar que, en la determinación del poder calorífico de la briqueta, se considera el valor mínimo obtenido de las tres pruebas de laboratorio, estableciéndose en 20,73 MJ. Este enfoque específico proporciona una comprensión detallada de la eficiencia y el rendimiento del sistema, permitiendo tomar decisiones informadas para optimizar el uso de recursos y mejorar la sostenibilidad del proceso industrial.

Ahora bien, con los datos recopilados se lograron obtener los índices de consumo, productividad energética y su relación con respecto a la quema.

Tabla 3. Índices de consumo

Índices de consumo		
Índice de consumo total de energía térmica	13.91,29	MJ/Ton
	1,39	MJ/Kg
Índice de consumo de briquetas	0,075	Kg briq/Kg
	75,47	Kg briq/Ton
	0,63	MJ/Kg
	631,30	MJ/Ton
Índice de consumo de carbón	0,0216	Kg carbón/Kg
	21,59	Kg carbón/Ton
	0,76	MJ/Kg
	760,00	MJ/Ton

Fuente: CAEM, 2023.

La tabla de Índices de Consumo proporciona una radiografía precisa de los elementos clave en el proceso industrial, centrándose en el consumo de energía térmica, briquetas y carbón. El índice de consumo total de energía térmica, que asciende a 1.391,29 MJ por tonelada, ilustra la cantidad de energía térmica requerida para la producción global. A una escala más específica, el índice desglosado de 1,39 MJ por kilogramo proporciona una visión detallada de la eficiencia energética en cada unidad de peso del producto.

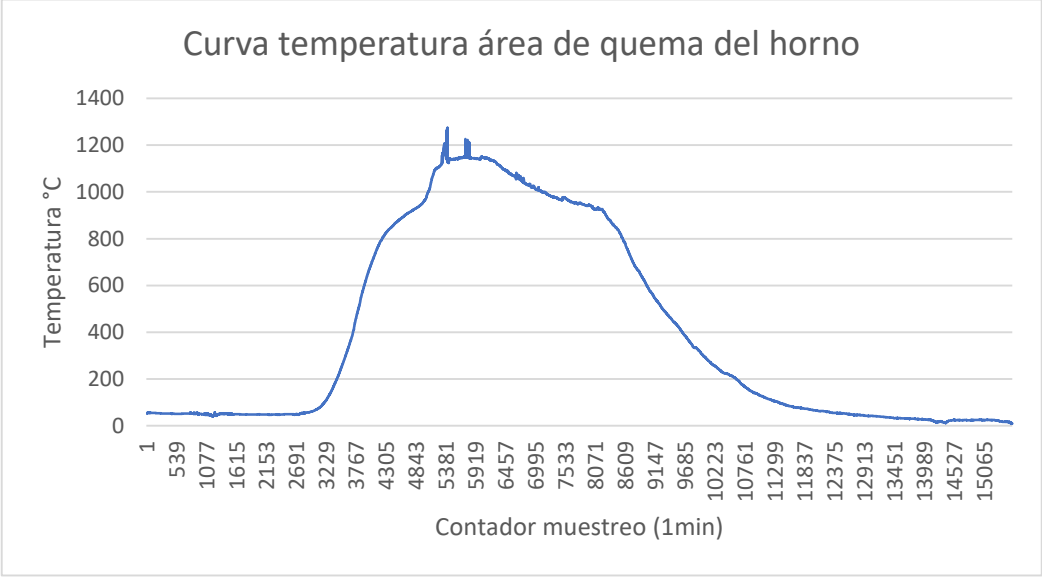
1.391,29	1,39
MJ/Ton	MJ/Kg

El análisis se intensifica al considerar el índice de consumo de briquetas, que revela un consumo de 0,075 kilogramos de briquetas por kilogramo de producto y 75,47 kilogramos por tonelada. La exploración adicional de los índices de consumo específicos de energía demuestra que se necesitan 0,63 MJ por kilogramo de briqueta o 631,30 MJ por tonelada, enfocándose en la eficiencia energética a nivel de material.

Por último, el índice de consumo de carbón detalla un uso de 0,0216 kilogramos de carbón por kilogramo de producto y 21,59 kilogramos por tonelada. Al adentrarse en los índices de consumo específicos de energía, se destaca que se requieren 0,76 MJ por kilogramo de carbón o 760,00 MJ por tonelada. Este enfoque exhaustivo proporciona una base sólida para la evaluación de la eficiencia en el uso de recursos y la identificación de áreas clave para la optimización del proceso productivo.

Con respecto a la temperatura del proceso productivo, los resultados se observan a continuación:

Gráfico 1. Curva de temperatura del área de quema del horno

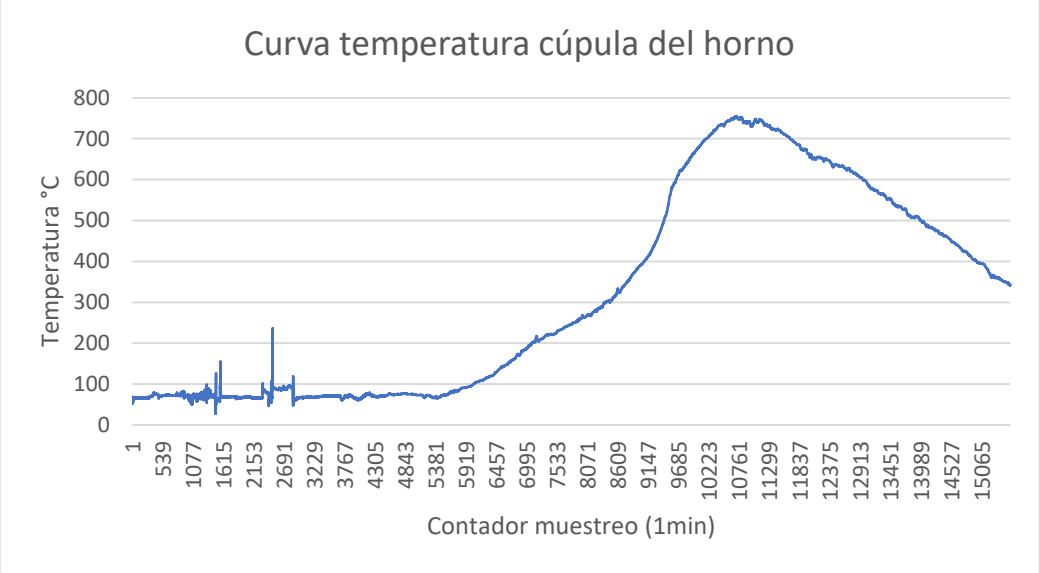


Fuente: CAEM, 2023.

Las gráficas muestran el comportamiento de la temperatura dentro del horno en dos zonas que son importantes analizar para entender cómo se consume la energía térmica en el

proceso. Se muestrearon 15.000 datos cada minuto por cada zona del horno, la medición se realizó con lectura en simultánea, lo que muestra un avance en los gráficos obtenidos. Los datos representan en cambio temporal de temperatura en el transcurso de 10 días desde que se inicia la quema hasta el enfriamiento.

Gráfico 2. Curva de temperatura de la cúpula del horno



Fuente: CAEM, 2023.

Según lo obtenido se observa que en la zona de quema del horno se llega a una temperatura máxima de 1.180 °C. Para que el horno empiece a elevar su temperatura en dicha zona deben pasar 50 horas desde que se arranca la combustión de briquetas y carbón en la zona inferior. El tiempo donde la temperatura fue mayor a 400 °C y que se puede considerar como tiempo efectivo del cocimiento del ladrillo es de 100 horas.

En cuanto a la temperatura de la cúpula del horno, se puede inferir que la energía transferida en el cocimiento hace que la temperatura de la masa de gases se reduzca aproximadamente 500°C en valores pico, pero se ralentiza el enfriamiento total del horno, lo que permite que no se produzca un choque térmico fuerte que pueda dañar el producto terminado o la estructura del horno.

Imagen 6. Mediciones en el horno.

Fuente: CAEM, 2023.



La tabla de Masa Total por Carga proporciona una visión detallada del peso total asociado con las distintas etapas del proceso productivo. Comenzando con las briquetas, la cantidad de 9875 unidades contribuye a una masa total de 24,47 toneladas, con cada briqueta pesando en promedio 2,48 kg. Este análisis ofrece una comprensión específica del peso total de las briquetas utilizadas en el proceso.

Tabla 4. Balance de masas

Masa total por carga de briquetas		
Cantidad	9875	Unid
Masa briqueta	2,48	Kg
Masa total briquetas	24473,54	Kg
	24,47	Ton

Masa total por carga de carbón		
Masa total briquetas	7000	Kg
	7	Ton

Masa total por carga de material arcilloso (Ladrillo crudo)		
Masa total material arcilloso	324267	Kg
	324,27	Ton

Carga total		
Masa total de carga	355,74	Ton

Fuente: CAEM, 2023.

En el caso del carbón, se carga un total de 7 toneladas, contribuyendo significativamente al peso total del proceso. La masa total de las briquetas y el carbón combinadas alcanza las 31,47 toneladas, destacando la importancia de estos elementos en la carga total del horno.

La inclusión del material arcilloso, con una masa total de 324,27 toneladas, aporta una perspectiva adicional sobre la carga total del proceso. Este componente, esencial en la formación de ladrillos crudos, juega un papel fundamental en la estructura y composición del producto final.

Sumando todas las cargas, la masa total de la carga se sitúa en 355,74 toneladas. Este análisis de masas proporciona una comprensión esencial del peso total involucrado en el proceso de producción, permitiendo una evaluación exhaustiva de los recursos utilizados y ofreciendo oportunidades para la optimización y la gestión eficiente del peso en el contexto del rendimiento del horno industrial.

Por otro lado, la tabla de Masa de Briqueta Quemada proporciona información clave sobre la cantidad de briquetas consumidas durante el proceso de combustión, con un enfoque específico en el residuo resultante. Las tres muestras muestran masas individuales de 0,675 kg, 0,720 kg y 0,735 kg, revelando variabilidad en la cantidad de material consumido durante la combustión.

Tabla 5. Masa de briquetas

Masa briqueta quemada (Kg)		
Muestra 1	**Muestra 2**	**Muestra 3**
0,675	0,720	0,735

Masa promedio briqueta quemada (residuo)	
0,71	Kg
Porcentaje de masa de la briqueta que no sufre combustión (residuo)	
11,7%	

Fuente: CAEM, 2023.

El cálculo del promedio de la masa de briqueta quemada arroja un valor de 0,71 kg. Este dato es esencial para comprender la cantidad típica de briqueta que se consume durante el proceso de combustión, proporcionando una referencia sólida para la planificación y optimización del uso de material.

Un aspecto crucial que emerge del análisis es el porcentaje de masa de la briqueta que no sufre combustión, también conocido como residuo. Con un valor del 11,7%, este indicador destaca la proporción de la briqueta que permanece sin quemar, lo cual puede ser significativo en términos de eficiencia y gestión de residuos.

En conjunto, este análisis detallado de la masa de briqueta quemada y el porcentaje de residuo proporciona información esencial para evaluar la eficiencia del proceso de combustión y orienta hacia posibles mejoras en la composición de las briquetas o en la gestión del proceso de quema para reducir residuos y maximizar la utilización del material.

La información de la tabla "Masa total por carga de material arcilloso (Ladrillo cocinado)" ofrece una visión de las características del ladrillo cocinado en el proceso industrial. Las tres muestras revelan masas individuales de 2,72 kg, 2,76 kg y 2,8 kg, proporcionando información sobre la variabilidad en la producción de ladrillos.

Imagen 7. Carga de briquetas al horno



Fuente: CAEM, 2023.

El cálculo del promedio de la masa del ladrillo cocinado resulta en 2,76 kg. Esta cifra representa la cantidad típica de material utilizada en la formación de un ladrillo y sirve como referencia crucial para la planificación y optimización de la producción.

Tabla 6. Masa total por carga de material

Masa total por carga de material arcilloso (Ladrillo cocinado)

Masa total por carga de material arcilloso (Ladrillo cocinado)		
Masa ladrillo cocinado (Kg)		
Muestra 1	**Muestra 2**	**Muestra 3**
2,72	2,76	2,8

Masa promedio ladrillo cocinado (Kg)	
2,76	Kg

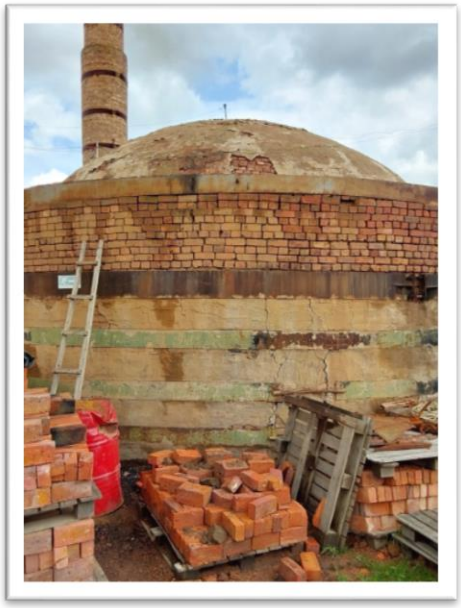
Masa total ladrillo cocinado (Kg)	
302,87	Ton

Masa de agua evaporada + masa material particulado	46,47	Ton

Fuente: CAEM, 2023.

La masa total de ladrillo cocinado por carga alcanza 302,87 toneladas, lo que refleja la contribución significativa de este componente al peso total del proceso. Además, se destaca la masa de agua evaporada y el material particulado, que suma 46,47 toneladas. Este componente representa la cantidad de agua que se ha evaporado durante el proceso de cocción, así como cualquier material sólido que pueda haberse liberado durante el mismo.

Imagen 8. Residuo de material cocinado



Fuente: CAEM, 2023.

Perdidas de material cocinado	4%
	12,11 ton

La tabla que describe las características de la zona de entrada de aire para combustión proporciona información valiosa sobre la dinámica del sistema. El área de la zona de entrada de aire se establece en 2,1927 m², indicando la superficie disponible para permitir el flujo de aire necesario en el proceso de combustión.

La velocidad de aire de entrada, registrada a 0,07 m/s, destaca la medida de la velocidad del flujo de aire en esta zona específica. Este parámetro es esencial para garantizar una adecuada distribución del aire necesario para la combustión, contribuyendo a la eficiencia global del sistema.

2,1927 m^2	0,07 m/s	9,20 m^3/min
Área de zona de entrada de aire de combustión	Velocidad de aire de entrada	Flujo masico de aire para combustión

El flujo másico de aire para combustión se presenta como 9,20934 m³/min, representando la cantidad de aire que se introduce en la zona de combustión por unidad de tiempo. Este valor es fundamental para asegurar las condiciones óptimas de combustión al mantener un suministro adecuado de oxígeno.

Finalmente, todos los datos ofrecen un panorama completo del proceso que se genera en el horno. Este análisis detallado es esencial para evaluar y optimizar la eficiencia de la entrada de aire en el proceso industrial

3. Medición isocinética y balance de masas y energía

Durante los días 03 y 04 de noviembre, el laboratorio Compañía Nacional de Estudios Ambientales SAS con NIT numero 900.682.639-6 certificado mediante la acreditación otorgada por el IDEAM en la Resolución 0581 del 05 de mayo de 2023 (Anexo 3) realizó la medición isocinética en la ladrillera El Virrey de los siguientes parámetros de acuerdo con el artículo 30 de la Resolución 909 del 5 de junio de 2008.



PM10 Material particulado	NOx Óxidos de Nitrógeno	SOx Óxidos de Azufre	HCL Cloruro de Hidrógeno	HF Fluoruro de Hidrógeno

El laboratorio empleo plantillas para determinar la confiabilidad de la información obtenida en la cuantificación de las emisiones de la ladrillera. La información recopilada durante el muestreo realizado se consignó en el formato denominado ISOCALC, la cual es una hoja electrónica de Excel que cuenta con los requerimientos técnicos señalados en los métodos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), estos se presentan en el anexo 3.

Los datos recolectados en campo son consignados manualmente en el formato de Datos de Campo PR-GT01-FT-A6-V12.0 establecido por el laboratorio con el fin de mantener y demostrar la trazabilidad de los valores obtenidos.

3.1 Procedimiento del muestreo

El laboratorio COMNAMBIENTE S.A.S aplico los métodos propuestos por EPA y adoptado por el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas publicado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2010[3] según lo dispuesto en el artículo 72 de la Resolución 909 de 2018.

[3] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2010. http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527666/Protocolo+fuentes+fijas.pdf/65780586-e70d-434a-9da7-264d3649b2ba

Para el caso particular de la Ladrillera El Virrey la medición fue de tipo directo, es decir que se realizó a través de un procedimiento donde se recolecta una muestra (usando equipos muestreadores), para su posterior análisis y el cual se detalla a continuación.

Tabla 7. Métodos usados para la medición directa de emisiones

Contaminante	Método US EPA	Descripción
NA	Método 1	Determinación del punto y velocidad de toma de muestra para fuentes fijas.
	Método 2	Determinación de la velocidad y tasa de flujo volumétrica de gases en chimenea.
	Método 3	Determinación de concentración de oxígeno y dióxido de carbono en emisiones de fuentes fijas. (Procedimiento analizador instrumental)
	Método 4	Determinación del contenido de humedad en gases de chimenea.
MP	Método 5	Determinación de las emisiones de material particulado en fuentes fijas (alternativo).
SO_2	Método 6	Determinación de las emisiones de dióxido de azufre en fuentes fijas (Método 5 alternativo).
NOx	Método 7	Determinación de las emisiones de óxidos de Nitrógeno en fuentes fijas

Fuente: COMNAMBIENTE S.A.S, 2023.

Una vez realizadas las muestras utilizando los métodos descritos en la tabla anterior, se usan métodos analíticos para los parámetros: material particulado, dióxidos de azufre y óxidos de nitrógeno.

3.1.1 Requerimientos mínimos en el muestreo de parámetros

Los métodos de evaluación directa se utilizan para la determinación de emisiones atmosféricas en ductos o chimeneas de equipos que cumplen los parámetros mínimos requeridos por los métodos de la EPA.

Dichos parámetros están relacionados principalmente con:

- La geometría
- Dimensiones mínimas de los ductos.
- Condiciones de estado
- Flujo estable de los procesos de combustión.

Para cada método se establecen unos parámetros que son descritos en el informe final entregado por el laboratorio acreditado (anexo 3).

Ahora bien, la localización del sitio de toma de muestra y la identificación de los puntos transversales en el ducto son muy importantes para realizar el proceso, estos fueron calculados por el laboratorio de acuerdo con lo estipulado en el método 1 de la EPA.

Tabla 8. Localización del sitio de medida en el Horno Colmena fuego dormido



Fuente: COMNAMBIENTE S.A.S, 2023.

El laboratorio usa unos procedimientos para asegurar el control y la calidad de cada una de las muestras recolectadas en campo y se tienen procedimientos para la recuperación, etiquetado, manipulación, control preservación, análisis y almacenamiento de las muestras

los cuales son descritos uno a uno en el informe emitido por el laboratorio presentado en el anexo 3.

3.1.2 Descripción de los equipos utilizados

Los parámetros de medición deben estar acordes con los estándares aplicables para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, los cuales se establecen en la resolución 909 de 2018.

En este sentido para los equipos se debe cumplir con los estándares de emisión admisible a condiciones de referencia (25 Y 760 mmHG), y un porcentaje de oxígeno al 18%.

En la siguiente tabla se relacionan los equipos utilizados por el laboratorio COMNAMBIENTE S.A.S para la toma de muestras, así como los utilizados para realizar los análisis fisicoquímicos y análisis de muestras.

Tabla 9. Equipos utilizados en la toma de muestras

Equipo	Código	Descripción
EQUIPO ISOCINETICO APEX C 5000	SER.029	Consola Isocinética + cable de poder
	SER.029.01	Termopar sensor Meter
	SER.029.02	Termopar sensor Exit
	SER.029.03	Termopar sensor Aux
	SER.029.04	Termopar sensor Filter
	SER.029.05	Termopar sensor Stack
	SER.029.06	Medidor de gas seco
	SER.029.07	Manómetro inclinado de agua
	SER.029.08	Termopar sensor Probe
	SER.029.09	Vacuómetro digital
	SER.029.14	Caja Fría + 4 impingers pequeños
	SER.029.11	Termómetro de verificación digital + termocupla
	SER.029.12	Kit Orificios Críticos (x5)
	SER.029.13	Cuello de Ganzo
	SER.029.15	Caja Caliente
	SER.029.16	Cordón Umbilical
	SER.029.17	Juegos de masas de campo
	SER.029.18	Pie de rey digital

Equipo	Código	Descripción
	SER.029.20	Vacuómetro analógico consola
	SER.029.24	Medidor de gas seco
	SER.024.12	Balanza
BOMBAS	SER.007.07	Bomba de vacío + diafragma
VIDRIERIA	SER.002.01.23	Impactador liso
	SER.002.02.6	Impactador araña
	SER.002.03	Impactador Knout
	SER.002.04.7	Portafiltro
	SER.002.04.8	Portafiltro
	SER.002.05.16	Conector "U"
	SER.002.05.17	Conector "U"
	SER.002.05.18	Conector "U"
	SER.002.05.19	Conector "U"
	SER.002.05.20	Conector "U"
	SER.002.06.4	Conector "L"
	SER.002.07.6	Conector "S"
	SER.012.02.5	Beaker Plástico 250 ml
	SER.012.04.6	Probeta de Plástico 100 ml
	SER.012.05.6	Probeta de Plástico 250 ml
CAJA DE HERRAMIENTAS	SER.003.05	CAJA DE HERRAMIENTAS
BALONES NOx	SER.012.01.5 SER.012.01.6 SER.012.01.7 SER.012.01.8 SER.012.07.3 SER.012.08.4 SER.012.09.6 SER.012.03.5	Balón M7 + llave + termopozo Balón M7 + llave + termopozo Balón M7 + llave + termopozo Balón M7 + llave + termopozo Conector hembra vidrio Conectar macho vidrio Pera pipeteadora Probeta de 25 ml
SET DE BOQUILLAS	SER.047	Set de boquillas de acero/ set boquillas borosilicato

Fuente: COMNAMBIENTE S.A.S, 2023.

El laboratorio indica que la sonda utilizada en las mediciones fue de 1,82 m de acero. Así mismo, indica que se usaron dispositivos de control y medición de temperatura, flujo y presión para la recolección de muestras, así como las conexiones respectivas para unificar el sistema.

Tabla 10. Características de los equipos usados

Equipo	Marca	Modelo	Serie	Rango	Unidad	Min división	Incertidumbre
Termopar sensor Meter	Apex C 5000	765	C 5000 METER	10°C - 60°C	°C	1°C	±0,62
Termopar Exit	Apex C 5000	765	C 5000 EXIT	0°-25°	°C	1°C	±0,63
Probe	Apex C 5000	765	C 5000 PROBE	100° - 180°	°C	1°C	±0,62 / ±0,67
Termopar sensor Stack	Apex C 5000	765	C 5000 STACK	20° - 400°	°C	1°C	±0,62 / ±1,3 / ±2,3
Termopar sensor Filter	Apex C 5000	765	C 5000 FILTER	100° - 160	°C	1°C	±0,62 / ±0,67
Termopar sensor Auxiliar	Apex C 5000	765	C 5000 AUXILIA R	20° - 400	°C	1°C	±0,62 / ±1,2
Vacuómetro analógico	Milipore	NI	NI	0 – (-)30	inHg	0,5	± 0,21
Pie de rey digital	Stainless Hardened	NR	NR	0-200	mm	0,01	±0,013
Medidor de gas seco	GTEC	T.I. Gas	212110 03772	0,016-2,5	m3/h	0,0001	0,2 - ± 1,5
Balanza	Notebook	N.I.	N.I.	0-2000	g	0,1	± 0,14
Termómetro digital	CHY	801	180420	20-400	°C	0,1°C	± 0,23/± 1,2 /±2,3
Pesa individual	Sartorius	Cilíndrica	NI	0–100 0-200	g	NA	± 0,001 ± 0,003
Gases Patrón	Linde	NA	NA	10,43 ppmv O2	ppmv	NA	±0,01%

Fuente: COMNAMBIENTE S.A.S, 2023.

En la siguiente tabla, se presentan los equipos utilizados para la recuperación de muestras.

Tabla 11. Equipos utilizados en recuperación de muestras

Equipo	Descripción
Frascos de muestra	Envase Ámbar de 50 ml, 100 ml, 250 ml y 500 ml con tapas libres de fuga
Cepillos y equipos de limpieza	Cepillos con cerdas de nylon y mangos en acero inoxidable

Fuente: COMNAMBIENTE S.A.S, 2023.

El laboratorio indica que para mantener las muestras tomadas realiza la implementación del procedimiento PR-GT04 para evitar riesgos de contaminación cruzada.

Para asegurar que los equipos se encuentran operando adecuadamente, el laboratorio indica que se aplicaron tres (3) procedimientos para la calibración.

a. Calibración inicial con orificios críticos.
b. Verificación del orificio critico
c. Instrumentos de verificación

Toda la información quedo registrada en las bitácoras de campo utilizadas por el laboratorio.

3.1.3 Especificaciones de la fuente

Las actividades del muestreo se realizaron en un horno Colmena de Fuego dormido, la operación del horno estuvo alrededor de un 90% con respecto a la producción del último año.

Tabla 12. Especificaciones de la fuente

Tipo de equipos	HORNO
Identificación de las fuentes	Horno Colmena
Marca	Colmena
Uso	Cocción productos en arcilla
Fecha de estudio	2023/11/02, 03
Tipo de combustible	Briquetas 78% y Carbón 22%
Fecha de entrada en operación	2018
Horas de operación promedio	24 horas/días; 6 días/semana
Configuración de la chimenea	Circular
Sistema de control de emisiones	NR

Fuente: COMNAMBIENTE S.A.S, 2023.

La empresa cuenta con una planta de producción en donde se realiza el beneficio de arcilla en materiales para la construcción, como: Ladrillo común. El proceso de transformación de la arcilla en la actividad de cocción del material se realiza mediante el uso de horno colmena, utilizando Briquetas y carbón térmico como combustible para el proceso de quema. El sistema productivo se compone de varios procesos en su orden así:

a. Proceso de explotación y maduración

El proceso de explotación se realiza por el sistema de taludes y terrazas, arrancando inicialmente toda la capa vegetal utilizándola para la conformación de jarillones, el arranque de la arcilla se realiza por medio de retroexcavadora conformando montones de no más de 5m de alto ubicados en el área de acopio de la mina.

La maduración se refiere al tiempo en el que la arcilla ya explotada debe ser removida de los montones periódicamente buscando remover gases que la componen y generar un proceso de oxidación adecuado para la transformación; la maduración debe durar entre 10 y 12 meses. El proceso de explotación y maduración tiene su inicio en el momento que se

interfiere el suelo, y, su fin cuando la arcilla es transportada al molino o las tolvas de las líneas de producción para su beneficio.

b. Proceso de transformación y secado

La transformación o beneficio de la arcilla se refiere a las actividades que cambian las condiciones (físicas y químicas) originales de la arcilla, convirtiéndola en una unidad cruda del producto final. La arcilla debe ser molida y luego vertida directamente en las tolvas, esta actividad se realiza por medio de un cargador.

De las tolvas pasa por medio de cintas transportadoras a la línea de producción donde la arcilla es mezclada, humectada, extrusora, y finalmente cortada por la maquina (coche bala); de allí es transportada a los patios de secado naturales.

El principal objetivo del secado es conseguir eliminar la mayor cantidad de agua contenida en el material fabricado en la línea de producción. Este proceso finaliza cuando el material es retirado del patio cuando ya se encuentra seco.

c. Proceso de quema

Inicia en el momento en que el material seco es cargado al horno, el cargue del material se realiza a mano en el horno colmena. Los combustibles utilizados en la quema son: Briquetas (78 %) y carbón tipo térmico granulado (22%).

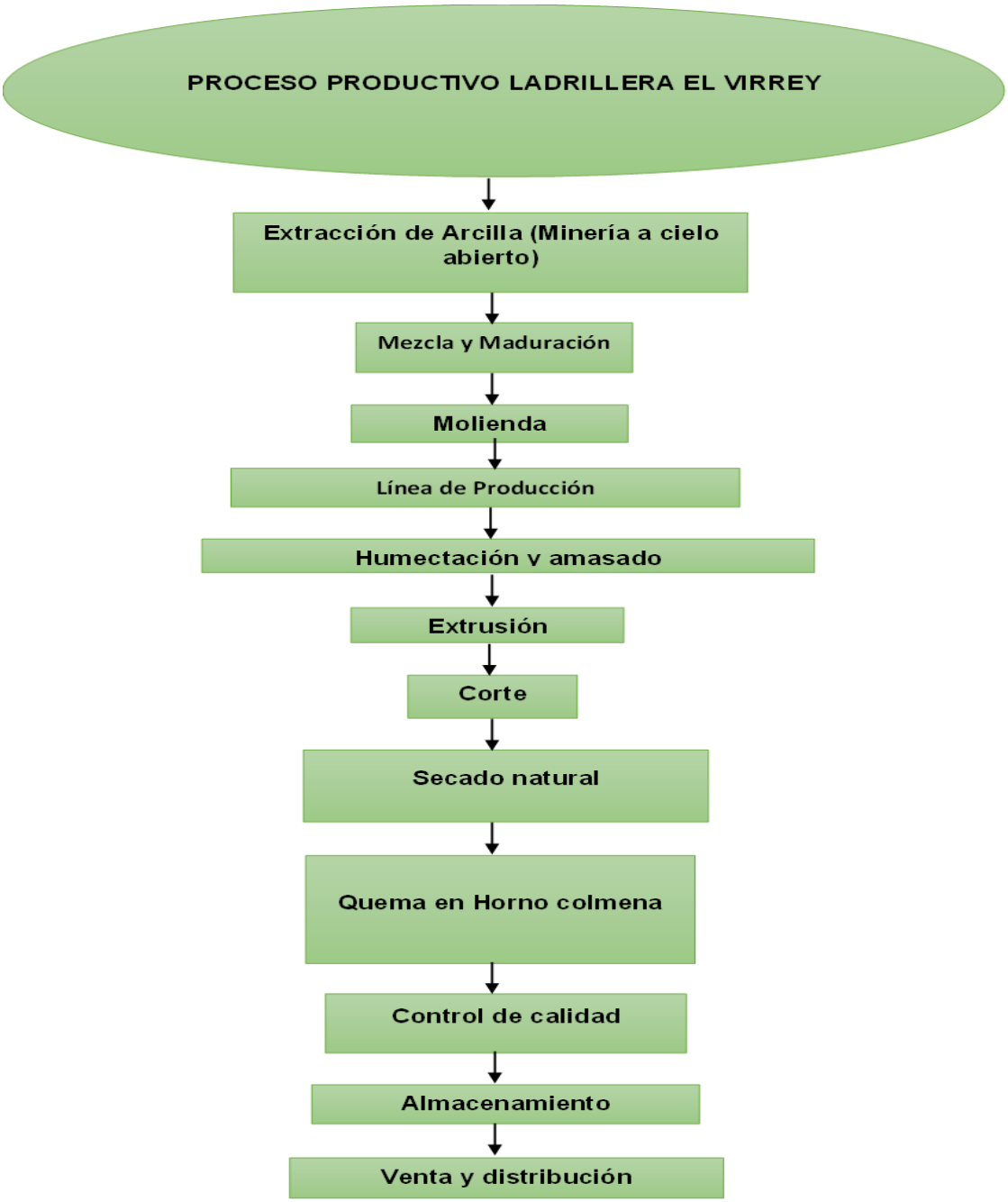
El proceso de la quema inicia a una temperatura que oscila entre los 17°C y los 32°C en el momento del cargue del material, cuando comienza la inyección o suministro de combustible se incrementa la temperatura cadencial mente hasta que alcanza su punto máximo a los 950°C o 1000°C, para luego descender de nuevo a la temperatura inicial. El fin del proceso es cuando el material es extraído de los hornos y dispuestos en los patios de despacho.

d. Proceso de despachos

Son las actividades que se desarrollan para enviar el material terminado a los diferentes clientes finales o intermediarios, esto incluye recibir y ubicar los vehículos de transporte, cargar el material inventariado, despachar estos vehículos.

A continuación, se presenta el proceso productivo desarrollado en la ladrillera:

Gráfico 3. Proceso productivo ladrillera El Virrey



Fuente: CAEM, 2023.

Imagen 9. Ladrillera El. Virrey



Fuente: CAEM, 2023.

El muestreo de emisiones atmosféricas realizado para los parámetros definidos en el numeral anterior obtuvo filtros y muestras liquidas que fueron analizadas en el laboratorio acreditado, el propósito de esta medición es determinar la concentración de los contaminantes generados por la fuente fija y compararlos con la normatividad actual vigente.

Para el caso de la Ladrillera El Virrey el estándar de emisión en mg/m^3 a las condiciones de referencia mencionadas en el numeral 3.1.2 y acorde con la Resolución 909 de 2018 son las siguientes:

Tabla 13. Estándar de emisión para industrias de fabricación de productos de cerámica

Contaminante	Combustible	Estándar de emisión en mg/m^3
Material Particulado	Solido	50
Dióxido de Azufre	Solido	500
Óxidos de Nitrógeno	Solido	500

Fuente: Resolución 909 de 2018.

El horno Colmena de fuego dormido no tiene en la actualidad un sistema de control de emisiones o algún equipo relacionado con el tema.

a. Descripción de la fuente de emisión

En el siguiente diagrama se presenta una chimenea donde se realizó la medición en la fuente de emisión:

Imagen 10. Chimenea circular Ladrillera El Virrey



Fuente: CAEM, 2023.

De acuerdo con los cálculos realizados por el laboratorio, las condiciones de operación de la chimenea circular se presentan a continuación:

Tabla 14. Carga y composición de los gases emitidos por el Horno Colmena de Fuego Dormido

Fuente	Oxígeno (%)	Dióxido de carbono (%)	Monóxido de carbono (%)	Nitrógeno y otros gases (%)
HORNO COLMENA	18,04	0,96	0,00	81,00

Fuente: COMNAMBIENTE S.A.S, 2023.

Tabla 15. Condiciones en la chimenea del Horno Colmena de fuego dormido

Fuente	Velocidad promedio del gas (m/s)	Temperatura promedio de los gases (ºC)	Presión promedio del gas (mm Hg)	% Humedad contenida	Peso molecular del gas seco g/g-mole
HORNO COLMENA	9,26	69,69	552,87	3,15	28,87

Fuente: COMNAMBIENTE S.A.S, 2023.

Es importante mencionar que estos resultados se obtienen de la aplicación de los métodos mencionados en el numeral 3.1 durante las actividades de muestreo.

4. Resultados

Las mediciones realizadas en la unidad productiva se presentan a continuación, es importante mencionar que el laboratorio uso el software ISOCALC para generar los reportes, estos incluyen los datos del muestreo, cálculos intermedios y los resultados finales.

4.1 MP, NOx, SO_2

Los resultados obtenidos se obtienen de la concentración de contaminantes de las muestras recolectadas y usando los criterios establecidos en los métodos EPA 5, 6 y 7. La incertidumbre de los resultados calculados por el laboratorio se encuentran dentro del límite aplicable para estos métodos.

Tabla 16. Resultados de MP, NOx y SO_2

DESCRIPCION	UNIDADES	Ccr	NORMA 909/2008	CUMPLIMIENTO	Proporción respecto a la norma
HORNO COLMENA					
Concentración de MP	mg/m^3	173,7597	50	NO CUMPLE	347,51% respecto a la norma
Flujo másico promedio	kg/h	2,4591	--	--	--
Concentración de SO_2	mg/m^3	148,1898	500	CUMPLE	29,63% respecto a la norma
Flujo másico promedio	kg/h	2,0730	--	--	--
Concentración de NO_x	mg/m^3	168,0432	500	CUMPLE	33,60% respecto a la norma
Flujo másico promedio	kg/h	2,2942	--	--	--

Fuente: COMNAMBIENTE S.A.S, 2023.

Se observa que la concentración de MP no cumple con respecto a lo establecido en la norma y lo supera por un 300%, mientras que los parámetros de óxidos de azufre y nitroso se encuentran en los límites permisibles.

Al ajustar la composición de la briqueta de finos de coque y arcilla, por finos de coque y biomasa, se espera llegar a una reducción de MP, para alcanzar las 50 ppm, en caso de que no se logre, se puede instalar un sistema de control mecánico, una trampa mecánica ubicada entre el ducto y la chimenea, para ambos casos, se validará con las pruebas isocinéticas en fuente.

4.2. Cálculo de la altura.

La altura del punto de descarga se calculó de acuerdo con lo establecido en el artículo 70 de la Resolución 909 de 2008.

Tabla 17. Cálculo de la altura para el horno colmena de fuego dormido

PARÁMETRO		UNID	MP	SO2	NOx
Diámetro	D	m	0,96	0,96	0,96
Temperatura	Ts	°C	69,69	69,69	69,69
Flujo volumétrico	R	m^3/h	14540,16	14540,16	14540,16
Flujo másico	Q	kg/h	2,46	2,29	2,07
Factor S	S		0,08	0,10	0,20
Q/S	Q/S		30,74	22,94	10,37
Altura de la Chimenea	H´	m	10	10	10

Fuente: COMNAMBIENTE S.A.S, 2023.

Como se observa la altura del punto de descarga es de 10 metros, es importante mencionar que no existen obstáculos dentro del rango de influencia de la fuente, por tanto, el cálculo de la altura obtenida no necesito ser corregida.

4.2 Registro Único Ambiental - RUA

En la siguiente tabla se presentan los datos consolidados de las mediciones realizadas en la unidad productiva y los cuales son objeto de revisión por parte de la autoridad ambiental cuando sean requeridos.

Tabla 18. Información consolidada para el RUA

REGISTRO UNICO AMBIENTAL - RUA		
Fuente		HORNO COLMENA
Latitud (Norte)		5°33'49,0932''
Longitud (Este)		73°18'3,2004''
Altitud (msnm)		2773
Tipo de fuente fija		Cocción productos en arcilla
Altura de la descarga		16,00 m
Diámetro del ducto circular (m)		0,96 m
MEDICIONES DE PARAMETROS		
Procedimiento de determinación - Métodos EPA		US EPA 5, 6 y 7
Nombre de la empresa y laboratorios que realizan el estudio		COMNAMBIENTE S.A.S.
Fecha del muestreo		2023/11/02, 03
Hora inicial del muestreo		8:40
Hora final del muestreo		14:45
Oxígeno en los gases de salida (% de Volumen)		18,04
Humedad en los gases de salida (% Volumen)		3,15
Flujo volumétrico gases de salida (condiciones de referencia, m3/min)		242
Velocidad de los gases de salida (m/s)		9,26
Temperatura de los gases de salida (°C)		69,69
Presión de los gases de salida mmHg		552,87
EMISIONES A LA ATMOSFERA CONCENTRACION Y FLUJO MASICO		
MATERIAL PARTICULADO	Concentración (mg/m^3)	173,7597
	Flujo másico (Kg/hora)	2,4591
DIOXIDO DE AZUFRE	Concentración (mg/m^3)	148,1898
	Flujo másico (Kg/hora)	2,0730
OXIDOS DE NITROGENO	Concentración (mg/m^3)	168,0432
	Flujo másico (Kg/hora)	2,2942

Fuente: COMNAMBIENTE S.A.S, 2023.

5. Guía de construcción y operación del horno.

En este apartado el objetivo es establecer lineamientos para construir un horno de fuego dormido adaptado para el funcionamiento con briquetas, para este caso particular, se explicará el diseño de la Ladrillera El Virrey (hermanos López) caracterizado en el numeral No 1.

En la actualidad existe una amplia variedad de hornos para la producción de ladrillos, al igual que diferentes materiales para su construcción, siendo el ladrillo uno de los más comunes debido a su fácil manejo, bajo costo y alta eficiencia.

Los hornos de ladrillo son construidos por personal especializado y con materiales de excelente calidad, muchas veces producidos de manera propia por los empresarios del municipio de Nemocón, Cogua y Tausa. A continuación, se intentará describir los pasos para construir un horno Colmena de fuego dormido.

5.1.Pasos para la construcción del horno

Esta guía toma como referencia varios trabajos que se han desarrollado en Colombia, México y Ecuador[4]. Por tanto, es necesario indicar que existen referentes para este tipo de trabajos, el paso a paso que se describe tiene como objetivo establecer una guía para la implementación de este horno a futuro, promoviendo la modernización del sector ladrillero de estos municipios.

Elegir el lugar



Es muy importante al momento de construir el horno, verificar que el terreno sea plano o sea poco inclinado, este seco y libre de maleza, piedras y raíces.

- Contar con disponibilidad de agua
- Acceso a la descarga para a materia prima (Briquetas)
- Buenas condiciones para el escurrimiento de agua lluvia.

El horno colmena es uno de los hornos más utilizados para promover cambios tecnológicos en las unidades productivas que cuentan hornos artesanales, lo anterior debido a su facilidad de construcción.

[4] Morales, A., s.f. Construcción y manejo de hornos de ladrillo para fabricar carbón. Comisión Nacional Forestal - CONAFOR

En general, los hornos se caracterizan por tener una sola chimenea y esta se construye completamente con ladrillos cocidos[5].

5.1.1. Materiales

La selección de materiales es muy importante para su construcción, se deben elegir ladrillos uniformes con las siguientes características:

Materiales



- Ladrillos secos de 20x10x5 centímetros para un horno de 5 metros de diámetro.
- 1 listón de madera cepillada de 1" x 2" de 3.10 metros de largo
- 1 tabla de 1/2" x 2" y 27 centímetros de largo
- 1 bisagra metálica de 2" de ancho
- 1 viga de acero de 2 metros de largo y 10 centímetros de ancho entre lados
- 1 plomada
- 1 nivel

Los materiales descritos son solo una guía, las unidades productivas de los municipios de Nemocón, Tausa y Cogua pueden adaptarse a la condiciones y tamaños que sus dueños consideren más viable.

5.1.2. Señalizar la base

Es necesario identificar el lugar donde se va a convertir el centro del horno y se marca el diámetro con un hilo de la distancia que se requiera, usando la estaca como compás y dejando un diámetro de correspondiente, lo que será el diámetro del horno.

5.1.3. La mezcla

Para unir los ladrillos durante la construcción del horno es necesario realizar una mezcla, es decir un mix con agua, arena, cernida y tierra arcillosa en las cantidades que den por resultado una consistencia blanda de fácil manejo, suave, arcillas y que no se agriete al secar.

Las cantidades depende del tipo de tierra disponible. No se puede utilizar cemento o mezcla de cal, puesto estos materiales se fracturan con la alta temperatura del horno.

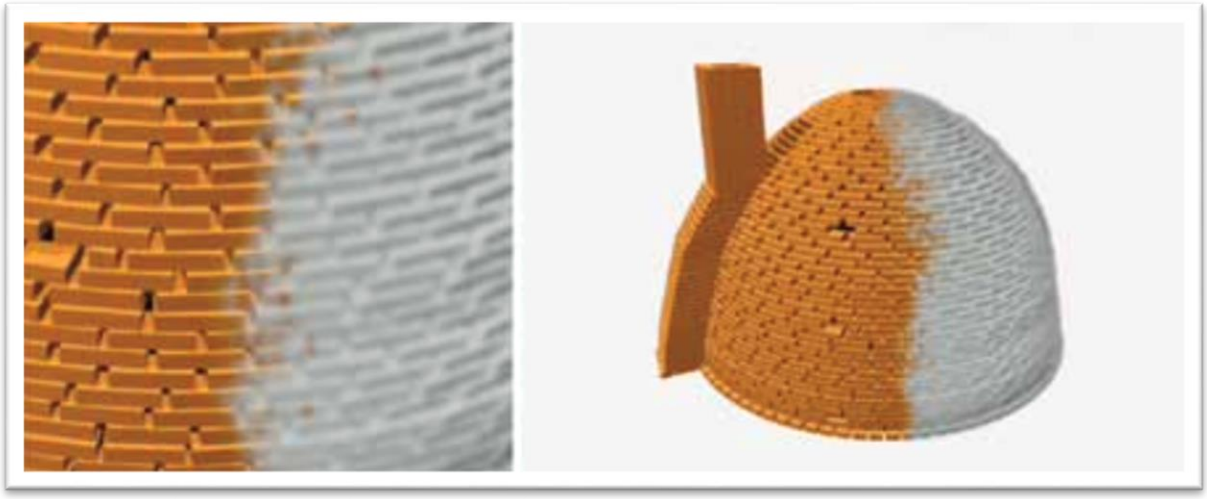
5.1.4. Acabado del horno

Una vez se termina la construcción de la pared, el horno necesita un revestimiento delgado de mezcla, la cual se prepara con partes iguales de arena y tierra arcillosa, ambas cernidas. Estas se aplican con brochas o cepillos y en poca cantidad. La mezcla sellara el honor,

[5] FAO, 1983.

tapando todas las rajaduras o huecos existentes para que no se filtre el aire y de esta manera evitar las pérdidas de calor.

Ilustración 1. Acabados del horno – sellado con mezcla

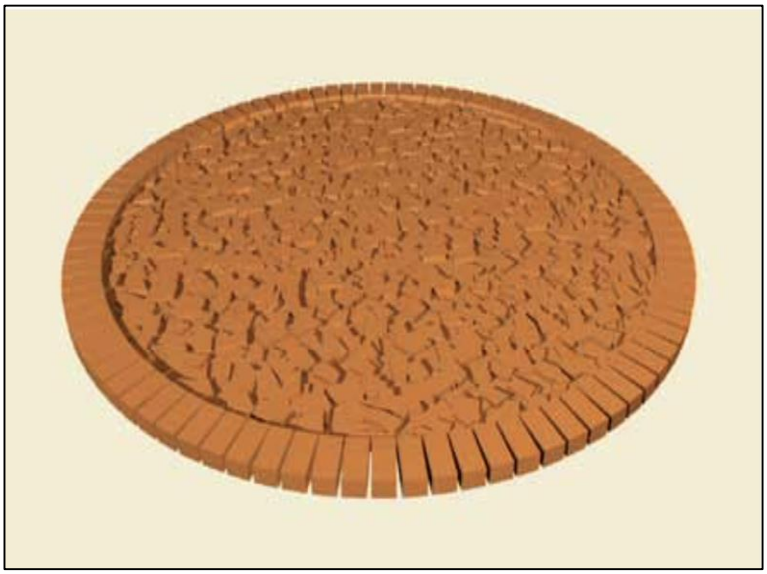


Fuente: CONAFOR -SEMARNAT, s.f.

5.1.5. El Cimiento

El piso del horno debe estar elaborado de tierra bien apisonada o tener una capa de ladrillos, lo que asegura que la materia prima que se utilice se recoja libre de impurezas.

Ilustración 2. Piso del honro



Fuente: CONAFOR -SEMARNAT, s.f.

Ahora bien, para asentar el cimiento se requiere realizar una zanja de aproximadamente 35 centímetros de ancho a partir del círculo previamente marcado, este debe tener una profundidad de 2 a 3 metros para instalar hileras de ladrillo bien niveladas con pegue de arcilla, melaza y sal.

Se debe dejar un espacio de 1.1 mts para la puerta de ingreso de material, la cual no consta de cerramiento, y en su interior se debe demarcar el muro de buitrón para la salida de gases con un muro en ladrillo de 0,60 mts.

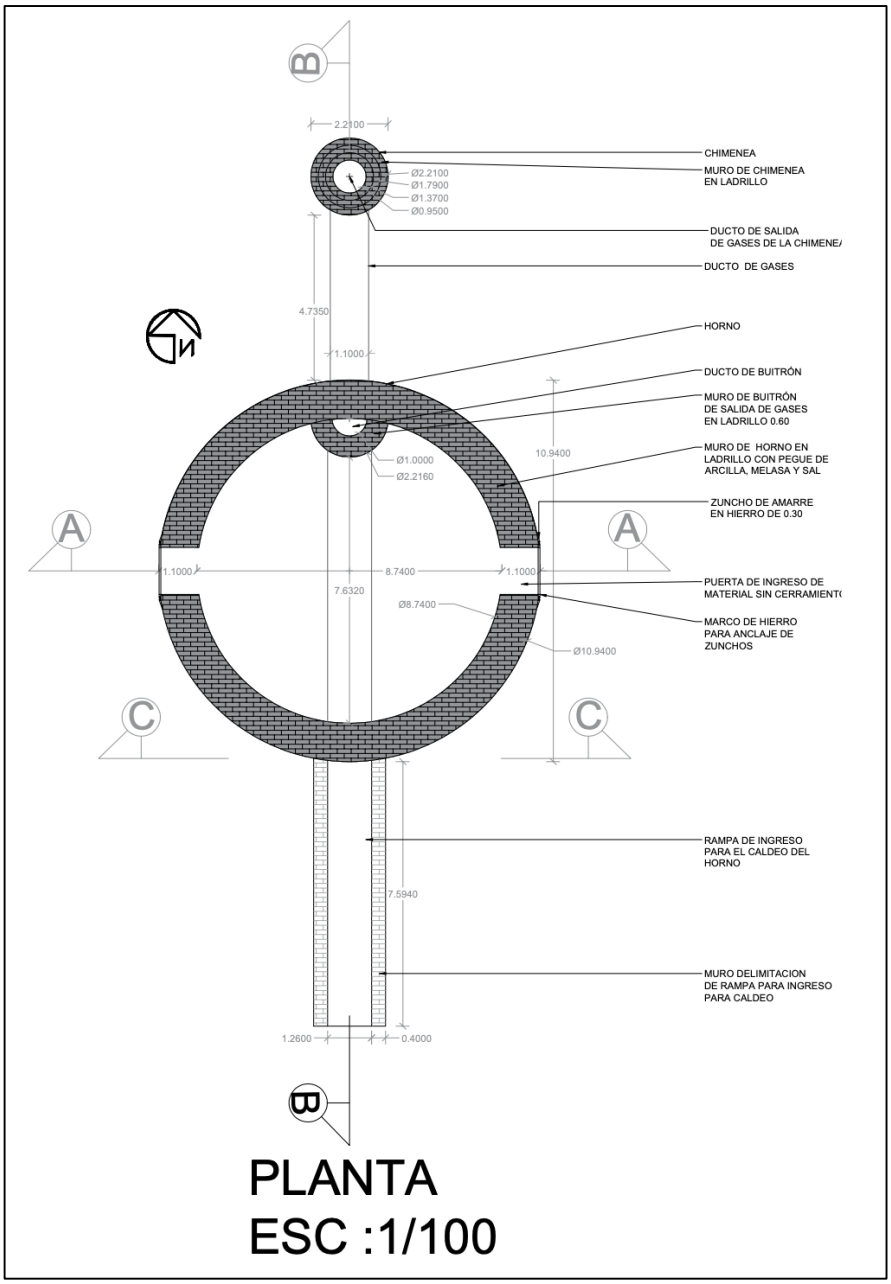


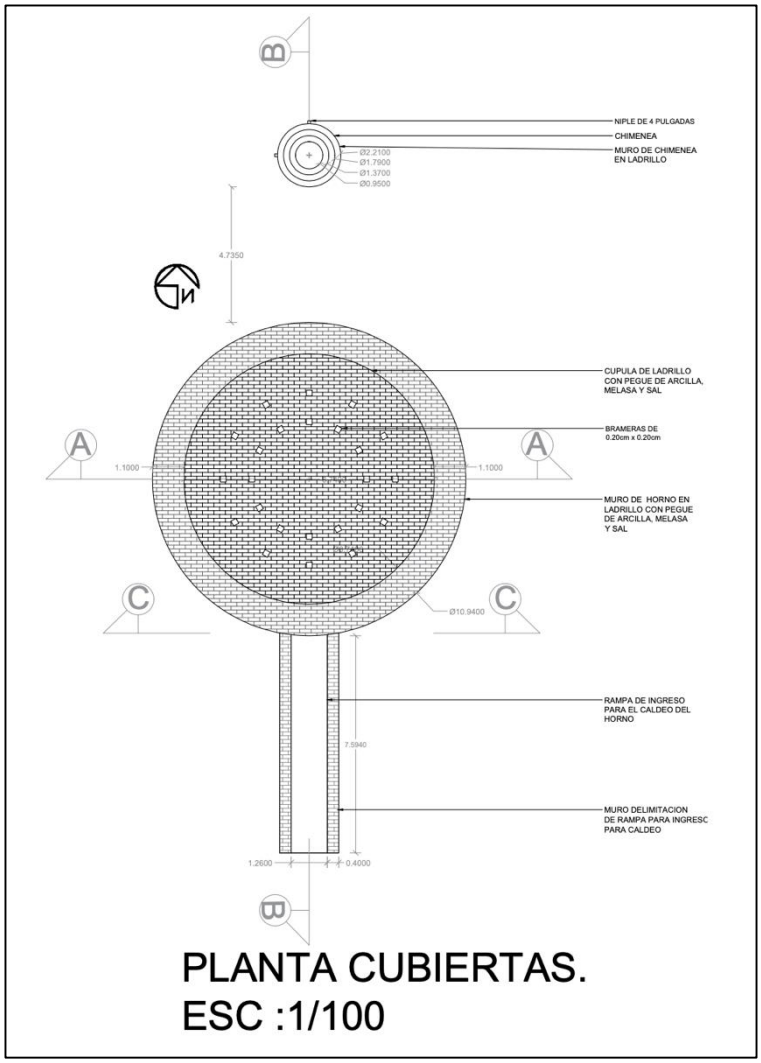
Imagen 11. Horno Colmena Planta Escala 1:100

Fuente: CAEM, 2023.

Así mismo, se debe contemplar el zuncho de amarre en hierro de 0,30 mts, con su respectivo marco en hierro para el anclaje.

5.1.6. La bóveda o cúpula

Esta se refiere a la parte esférica ubicada en la parte superior del horno, se encuentra construida en material cerámico o algunos casos con material refractario. Generalmente posee un radio entre 1 a 3 metros, para este caso particular la cúpula de ladrillo se encuentra construida con pegue de arcilla, melaza y sal.

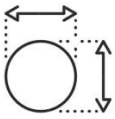


Posee unas brameras de 0,20 cm x 0,20 cm, tiene un radio de 4,37, un diámetro externo de 10,94 y un diámetro interno de 8,74.

Las brameras son aberturas cilíndricas ubicadas sobre la parte superior del horno, y se encuentran distribuidas perimetralmente sobre la circunferencia de la bóveda, estas se mantienen abiertas durante el caldeo por lo cual permiten la salida de la humedad que contiene el material.

Imagen 12. Planta Cubierta escala 1:100 (Ladrillera El Virrey)

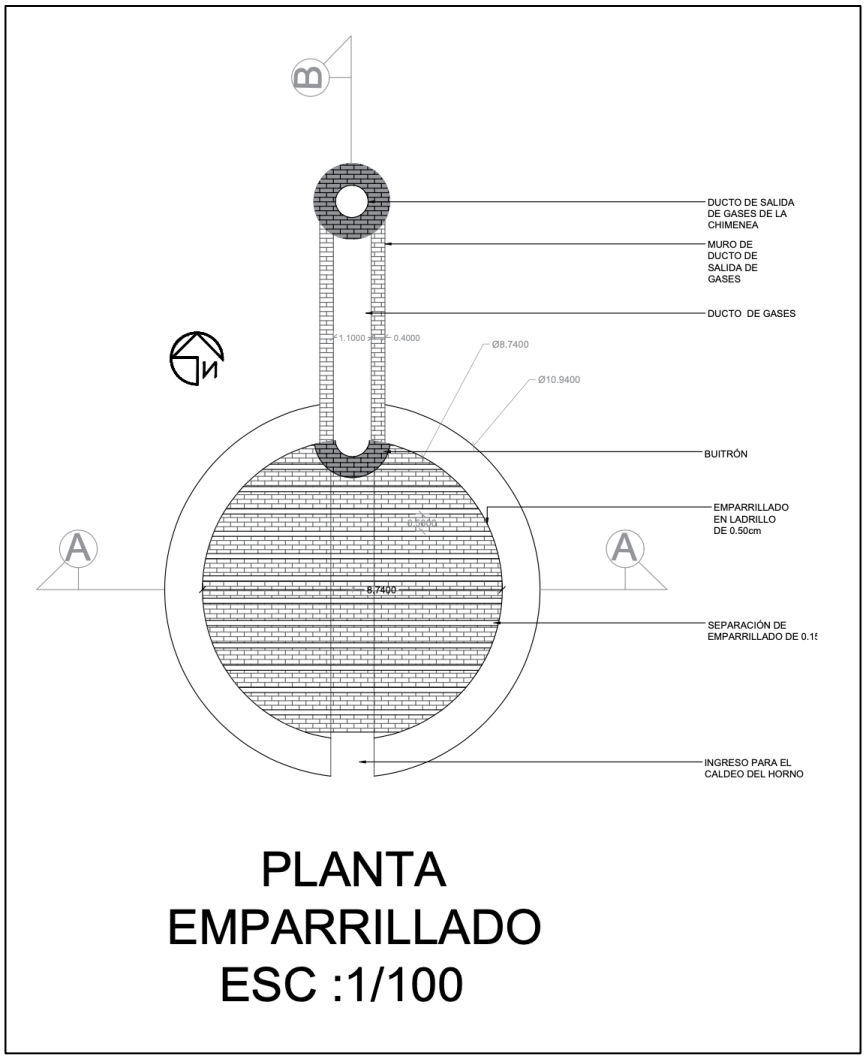
Fuente: CAEM, 2023.

Brameras: 0,20 x 0,20 mts		
	Diámetro interno: 8,74 mts	Diámetro Externo: 10,94 mts

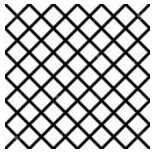
5.1.7. El Emparrillado

Hace referencia al piso conformado por unidades de cerámica denominadas falcas, que son aquellas que cubren los ductos inferiores, Por lo general, se ubican de forma transversal a cada ducto, dejando espacio entre ellas para permitir el flujo de calor.

Imagen 13. Vista planta del Emparrillado escala 1:100



Fuente: CAEM, 2023.

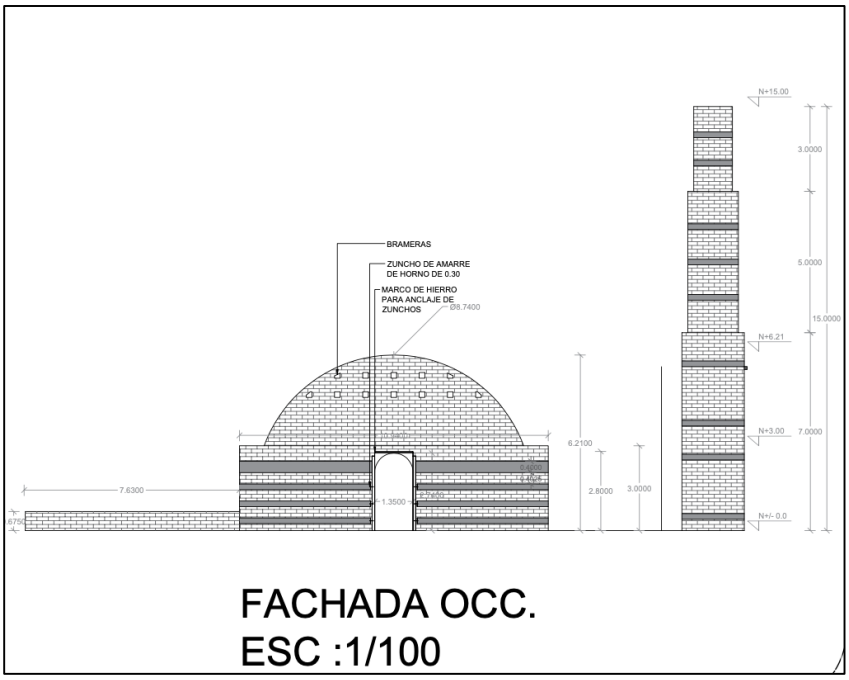


0,15 cms	0,50 mts
Separación de emparrillado	Emparrillado en ladrillo

5.1.8. Fachada

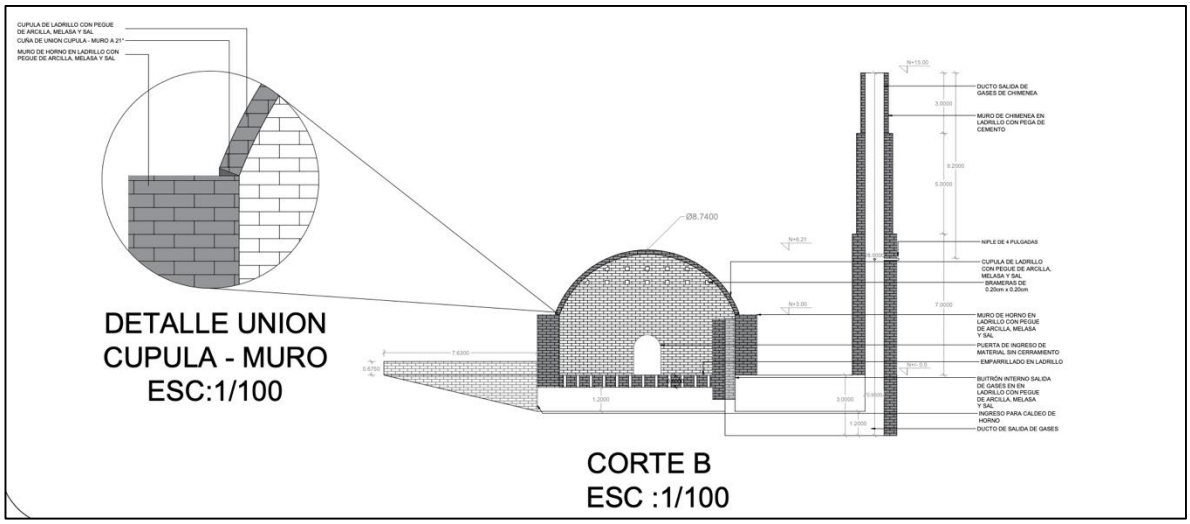
El horno se encuentra construido en muros de ladrillo localizados de manera circular, se conforman en mampostería reforzado el cual se encuentra con pegue de arcilla, melaza y sal.

Imagen 14. Fachada occidental escala 1:100.



Fuente: CAEM, 2023.

Imagen 15. Corte B escala 1:100.



Fuente: CAEM, 2023.



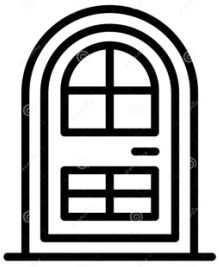
Imagen 16. Fachada del horno

Fuente: CAEM, 2023.

La puerta corresponde a la apertura entrada y salida, Pueden ser 1 o 2 puertas dependiendo de la capacidad y operación del horno. Estas son cerradas en mampostería durante la quema.

Imagen 17. Puerta de Horno





1,35 mts
Ancho de puerta

2,80 mts
Altura de puerta

Fuente: CAEM, 2023.

5.1.9. Chimenea

Es una estructura vertical conformada en cerámica o metal que posee un ducto interno, para el direccionamiento de los gases de combustión, se encuentra generado por una edificación del ducto, perforaciones o niples. Para este caso, no cuenta con una plataforma de acceso.

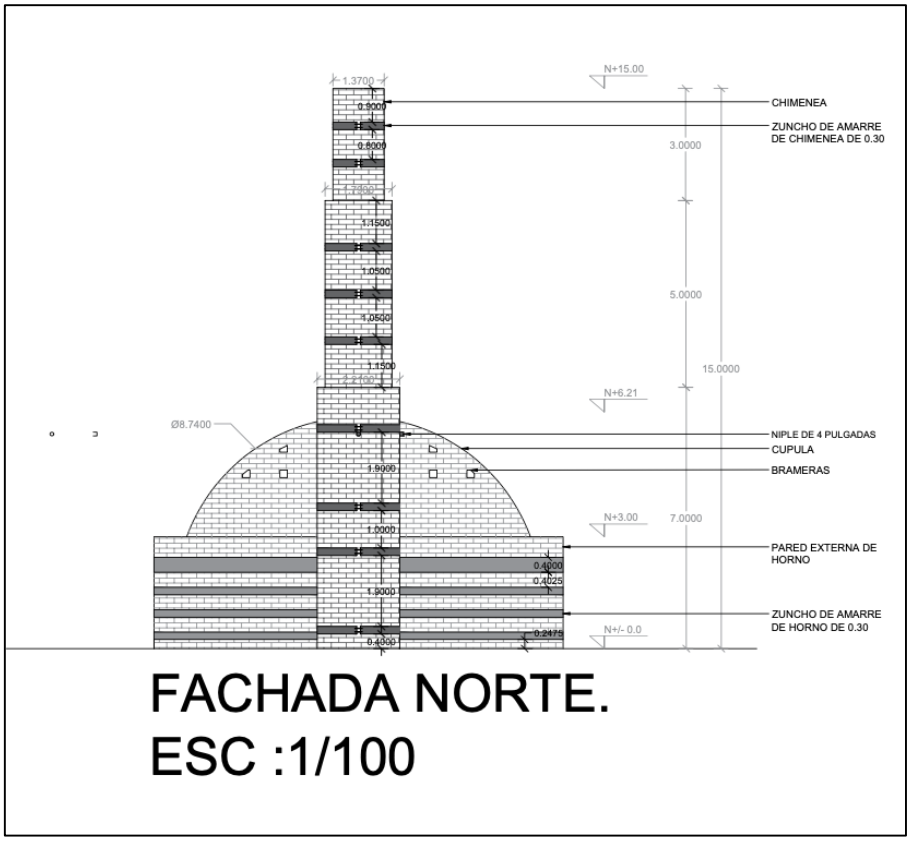


Imagen 18. Fachada norte escala 1:100.

Fuente: CAEM, 2023

Algunas estructuras cuentan con escaleras de acceso, por lo general se encuentra conectada. A través de un ducto principal, que atraviesa el horno y se encuentra comunicado con los ductos de transferencia de calor, por lo general este se encuentra desde el centro del horno hasta conectar con la chimenea.

El ducto de salida de gases al interior del horno tiene una altura de 1,20 metros conectados al buitrón interno de salida de gases y a la chimenea.

	18 mts	15 mts	9,20 mts
	Altura interna	Altura externa	Niples de 4 pulgadas

Imagen 19. Chimenea del horno

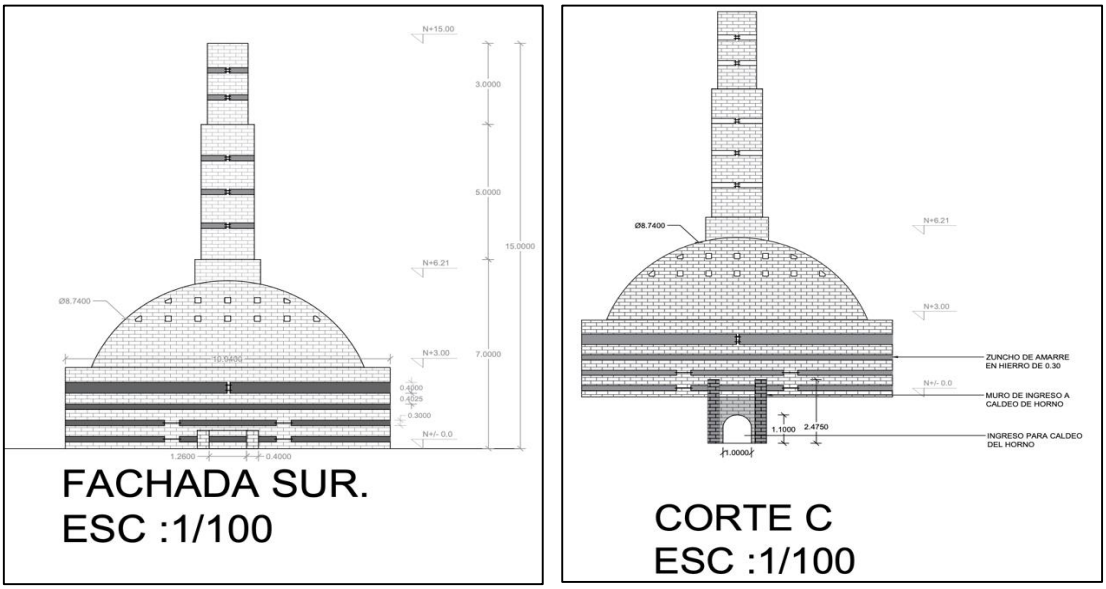


Fuente: CAEM, 2023

5.1.10. Área de Caldeo

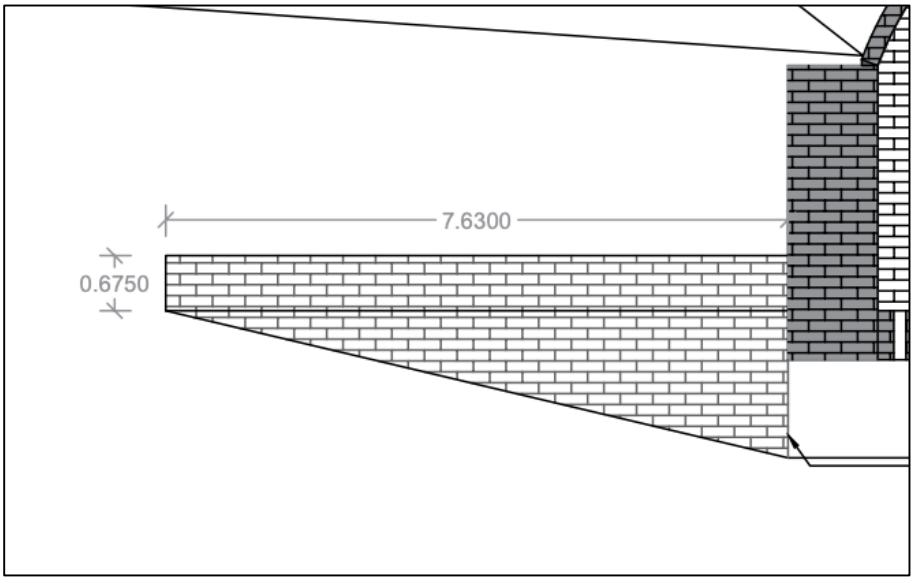
En la zona sur del horno se encuentra el área de caldeo donde se dosifica el combustible, para este caso las briquetas, esta actividad se realiza de manera manual

Imagen 20. Fachada sur y corte, entrada de caldeo del horno



Fuente: CAEM, 2023

Imagen 21. Área de caldeo



Fuente: CAEM, 2023

La entrada al área tiene aproximadamente 7 metros y la actividad se realiza de manera manual.

6. Características técnicas

De acuerdo con el documento *"Report on the scientific assesment of successful technology cases in LAC"* de Swiiscontact, el horno tiene una forma circular, y cuenta con el principio de operación de tiro invertido o llama ascendente como se conoce comúnmente. La combustión se produce en las zonas laterales del horno (con 4 o 6 quemadores colocados de manera equidistante). Este tipo de hornos se caracterizan por tener unas dimensiones entre 5 y 10 metros de diámetro, de 2,8 a 3,2 metros de altura, y poseer una capacidad que varía entre 60 y 110 millares.

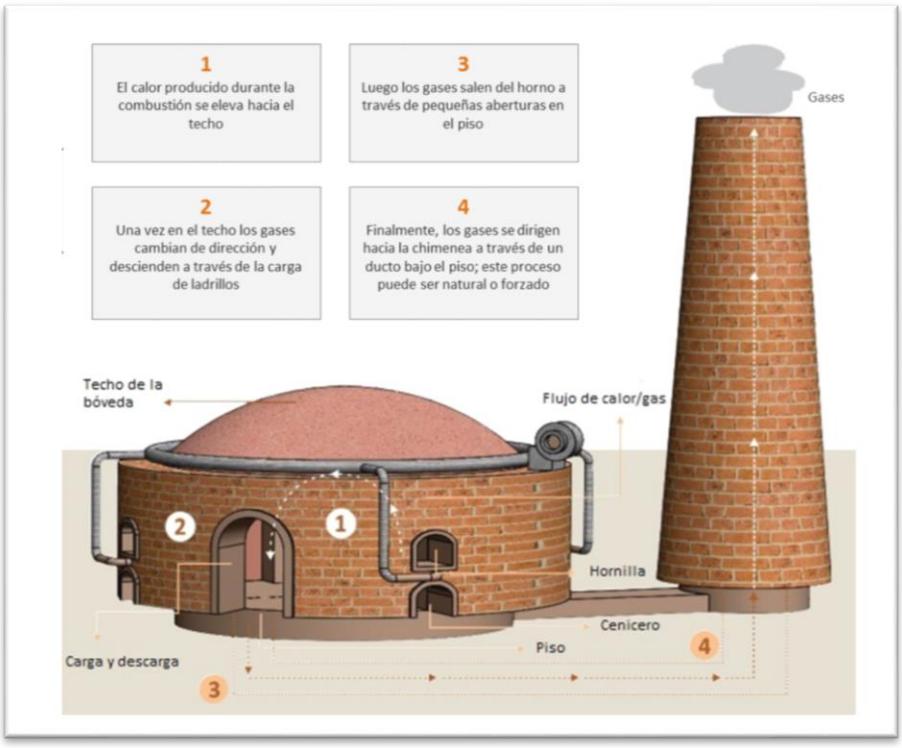
Imagen 22. Horno Colmena Ladrillera El Virrey



Fuente: CAEM, 2023.

El tiro puede ser natural o forzado, por lo general los combustibles usados son trozos, troncos pedazos de leñas u otras fuentes que depende de la zona. Para el caso particular de ladrillera Virrey se usan briquetas con una composición del 78% de finos de coque y el 22% restante carbón, las cuales son dispuestas e hilera a hilera en medio del material distribuidas a lo largo de todo el honro, lo que hace que el proceso de combustión sea mucho más eficiente.

Gráfico 4. Esquema de operación del horno Colmena con tiro invertido



Fuente: Tomado de Swisscontac, 2015 elaborado por EELA.

6.1.Proceso de quema

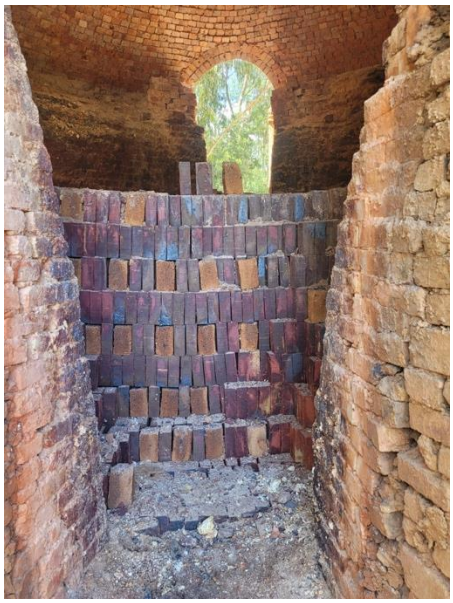
La quema de este tipo de hornos se realiza en varias etapas consecutivas, y su principal función es generar un umbral térmico. El proceso se describe a continuación:

a. **Endague:** es acomodar el producto no terminado (ladrillos) o piezas cerámicas al interior del horno en hileras consecutivas. Se recomienda dejar espacio entre el material cargado para permitir el flujo de calor. En este sentido, la eficiencia de la quema depende del tiempo y la homogeneidad de este proceso, sin embargo, el proceso puede modificarse de acuerdo a la técnica de cada empresario.



b. **Encendido y calentamiento del horno:** el caldeo como se le conoce en el sector tiene como principal función encender el honro, evaporar la humedad contenida en la masa que se ha cargado previamente. Acá se genera la ignición de la quema de combustibles líquidos o solidos hasta llegar a la ignición del combustible principal.

   Una vez se logre este punto, la dosificación se mantiene de forma manual para alcanzar una temperatura de 400 a 1200 °C. Por lo general este proceso puede durar entre 12 a 25 horas dependiendo del tamaño del horno y las condiciones fisicoquímicas del combustible. Las brameras y el ducto de la chimenea se mantienen completamente abiertos, lo cual permite la salida de la humedad.



c. **Cocción:** en esta etapa se busca elevar y mantener el umbral de temperatura para generar la sinterización del material cargado. Se identifican dos etapas:
   - **Elevación:** Elevar la temperatura hasta el umbral término, es decir, al superar los 400°C, allí el horno de be llevarse hasta una temperatura entre 1000 y 1200 °C.
   - **Permanencia:** Se entiendo como sostener la temperatura hasta que logre ascender al piso del horno; por lo general, en esta fase disminuye la inyección de combustible.

   La cocción puede durar entre 40 a 60 horas según las condiciones de carga, combustible y operación del horno.

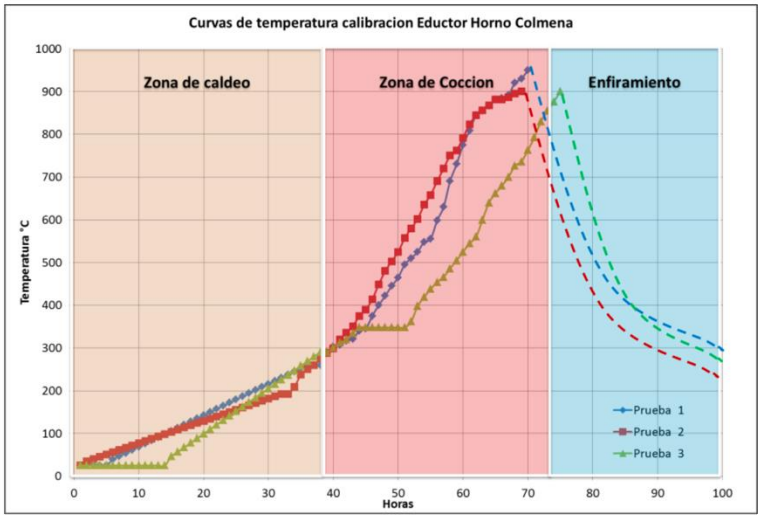
d. **Enfriamiento:** Se refiere al periodo de tiempo en que se suspende la inyección de combustible y se permite el descenso de la temperatura de manera natural o forzada mediante ventiladores.



e. **Deshorne o descargue:** consiste en retirar del horno el material cocinado posterior al enfriamiento. Generalmente se realiza de forma manual con el apoyo de carretillas de transporte.

Para este tipo de hornos, el ciclo completo de producción se ha establecido en aproximadamente 80 horas, donde se realizan una serie de etapas consecutivas cuya función es generar el umbral térmico y sostenerlo hasta que recorra toda la masa cargada.

12 Horas de carga
20 horas de calentamiento
18 horas de quema
27 horas de enfriamiento
12 horas para la descarga.
Total: 80 horas



Fuente: Tomado de Programa Eficiencia Energética para Ladrilleras (EELA Colombia), 2013.

El consumo especifico de briquetas es de 9875 unidades y 7 toneladas de carbón. Por lo tanto, la eficiencia térmica media es de 0,72 Kg/MJ. Este horno es capaz de generar de 90 a 95% de productos de primera calidad.

6.1.1. Rendimiento

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la medición isocinética realizada a la Ladrillera El Virrey, utilizando como combustible briquetas compuestas 78% material vegetal y 22% carbón.

Tabla 19. Emisiones generadas en ladrillera El Virrey

Parámetros	Estándar de emisión admisible horno nuevo (mg/m_3)	Estándar de emisión admisible horno existente (mg/m_3)	Resultado horno Colmena (mg/m_3)
Material particulado (MP)	50	250	173,75
Dióxido de azufre (SO2)	500	550	148,18
Óxidos de nitrógeno (NOx)	500	550	168,04
O2 de referencia (%)	18%	18%	18%
Temperatura de salida	25 °C	25 °C	69,69 °C

Fuente: CAEM,2023.

Durante las mediciones realizadas por el laboratorio se mantuvo una operación superior al 90% del promedio de la producción del año. Para este proceso se obtuvieron filtros, muestras liquidas que posteriormente fueron analizadas en el laboratorio.

Como se presentó en el numeral 4, se evidenció que las condiciones de material particulado son superiores al estándar de emisión admisible por la normatividad vigente, mientas que los dióxidos de azufre y dióxidos de nitrógeno son inferiores al estándar. Por otro lado, la altura de la chimenea cumple con lo mínimo requerido (10 metros).

6.1.2. Combustible y energía

Ahora bien, luego de realizar las mediciones de validación energética durante la operación del horno se tienen los siguientes resultados consolidados:

Tabla 20. Índices de consumo ladrillera El Virrey

Índices de consumo		
Índice de consumo total de energía térmica	1391,29	MJ/Ton
	1,39	MJ/Kg
	0,075	Kg briq/Kg

Índices de consumo		
Índice de consumo de briquetas	75,47	Kg briq/Ton
	0,63	MJ/Kg
	631,30	MJ/Ton

Índice de consumo de carbón	0,0216	Kg carbón/Kg
	21,59	Kg carbón/Ton
	0,76	MJ/Kg
	760,00	MJ/Ton

Fuente: CAEM,2023.

El índice de consumo total de energía térmica es de 1391,29 MJ por tonelada, lo que implica que se necesita esta cantidad de energía para fabricar una tonelada del producto en cuestión. A nivel individual, se utiliza en promedio 1,39 MJ de energía térmica por cada kilogramo del producto.

El proceso de producción incorpora briquetas con un índice de consumo de 0,075 kilogramos de briquetas por cada kilogramo de producto fabricado. A escala tonelada, esto se traduce en un consumo de 75,47 kilogramos de briquetas por tonelada de producto. En términos de energía específica, se requieren 0,63 MJ de energía térmica para producir un kilogramo de producto o 631,30 MJ por tonelada.

El consumo de carbón se establece en 0,0216 kilogramos por cada kilogramo de producto manufacturado. En una escala de toneladas, esto representa un consumo de 21,59 kilogramos de carbón por tonelada de producto. En cuanto a la energía específica, se necesitan 0,76 MJ de energía térmica para producir un kilogramo de producto o 760,00 MJ por tonelada.

6.2.Potencialidades del Horno

La implementación de un horno Colmena que funciona como un horno dormido sigue siendo una opción de transición tecnológica para las empresas más artesanales. No obstante, es objeto de este proyecto presentarle a las unidades productivas con hornos fuego dormido la manera en que pueden modificar sus hornos con la referencia de cupulas y chimenea que se presenta en este documento.

6.2.1. Potencial de replica

La implementación de esta tecnología y el uso de briquetas para su funcionamiento, puede ser una alternativa muy atractiva para mejorar la tecnología actual que se usan en las

unidades productivas de los municipios de Nemocón, Cogua y Tausa. No obstante, es importante recalcar que se requiere una inversión por parte del empresario, la mecanización de ciertos procesos le permitirá alcanzar y mantener ciertos niveles de producción.

Según Swisscontact (2015), la reconversión y análisis económico muestra indicadores positivos, por otro lado, el análisis de sensibilidad muestra que los indicadores económicos y financieros son altamente sensibles a las variaciones del precio de venta, por lo cual se debe tener presente el tipo de producto y la valoración que se tiene en la actualidad de mercado.

Según el estudio del Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras, después de un análisis económico financiero del honor colmena se tienen los siguientes datos:

Tabla 21. Análisis económico - financiero

Parámetro	Colombia (Nemocón)
Nivel de inversión	US $40.000
VANF	US $24.350
TIRF	42%
Periodo de recuperación	32 meses
Condiciones del análisis financiero	Paso de horno a fuego dormido a Colmena, con una tasa de interés 3.3% mensual a un plazo de 24 meses.

Fuente: Tomado de Programa Eficiencia Energética para Ladrilleras (EELA Colombia), 2013.

Es importante destacar que una de las ventajas de este tipo de horno es la baja complejidad para su construcción y operación. Una desventaja que puede presentarse es la necesidad de aplicación de aire forzado durante la quema, lo cual podría afectar el índice de pérdidas y los ciclos de producción.

6.2.2. Potencial de mitigación

El estudio de Swisscontact (2015), estableció que la reducción del consumo de energía es de 25%, así considerando la emisión de 330 g de CO_2 por kg de ladrillo producido, lo cual indica una reducción de 941, 7 tCO_2e al año por horno instalado.

Para este caso particular, el uso de briquetas en el proceso productivo permite estimar que la reducción una reducción de más del 50% de tCO_2e al año, la utilización de la biomasa como combustible se considera neutra en emisiones de CO_2 al ser de origen biogénico, pero sí producirá emisiones de CH_4 y N_2O. Los factores de emisión de CO_2 de la biomasa con independencia de su origen biogénico serían variables de acuerdo a la composición del combustible.

En otras palabras, al sustituir un combustible fósil, en este caso los finos de coque, el cual tuvo un proceso térmico (pre-combustión) que ya elimino parte del material inerte, una

concentración de la energía en menos masa, por combustibles de origen orgánico (Biomasa) y de origen sintético o natural (aglomerante) que contiene componentes con menos impurezas, generarán menos Gases de Efecto Invernadero y tendrá una reducción neta de carbón fijo.

7. Conclusiones

- La concentración promedio de material particulado expresado como MP en las emisiones de la chimenea del Horno Colmena fue de 173,7597 mg/m3, a condiciones de referencia de temperatura y presión, a una concentración de oxígeno del 18%. Los resultados obtenidos son inferiores al estándar máximo establecido (50 mg/m3) en la Resolución 909 del 05 de junio del 2008.
- La concentración promedio de dióxido de azufre expresado como SO_2 en las emisiones de la chimenea del Horno Colmena es de 148,1898 mg/m3, a condiciones de referencia de temperatura y presión, a una concentración de oxígeno del 18% Los resultados son inferiores al estándar máximo establecido (500 mg/m3) en la Resolución 909 del 05 de junio del 2008.
- La concentración promedio de óxidos de nitrógeno expresado como NOx en las emisiones de la chimenea del Horno Colmena es de 168,0432 mg/m_3, a condiciones de referencia de temperatura y presión, a una concentración de oxígeno del 18%. Los resultados obtenidos son inferiores al estándar máximo establecido (500 mg/m_3) en la Resolución 909 del 05 de junio del 2008.
- La altura de la chimenea cumple con la mínima requerida en el artículo 70 de la Resolución 909 de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), pues la mínima calculada mediante Nomograma de Ermittlung de Schornsteinhöhe (Buenas Prácticas de Ingeniería) debe tener 10 metros y en la actualidad tiene 18 metros. De acuerdo con esto la altura de la chimenea de la fuente fija evaluada CUMPLE con la norma de la mínima requerida.
- Se recomienda al empresario de la ladrillera El Virrey realizar los mantenimientos y adecuaciones respectivas para cumplir con los parámetros establecidos en la normatividad vigente.
- Para las industrias existentes especialmente localizadas en los municipios de Cogua, Nemocón y Tausa es necesario evaluar los costos de inversión que se requieren para realizar las adecuaciones a sus hornos artesanales. Al evaluar los parámetros de la normatividad vigente con respecto a las industrias existentes se puede concluir que el uso de las briquetas actuales cumplen con los estándares admisibles, por lo tanto, su uso puede ser replicado en los municipios.

8. Bibliografía

Climate & Clean Air Coalition & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. junio, 2015.- INECC. Reconstrucción sustentable. Análisis de tecnologías disponibles. Abril, 2019.

Corporación Ambiental Empresarial (CAEM). Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras (EELA - Colombia). Evaluación de emisiones atmosféricas horno Cámaras Continuas, ladrillera el santuario, Nemocón Cundinamarca. 2014.

Municipio de Chivata, información generalhttps://www.chivata-boyaca.gov.co/municipio/informacion-general-623731

Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT). Municipio de Chivatá [Disponible en: https://chivataboyaca.micolombiadigital.gov.co/sites/chivataboyaca/content/files/000847/42317_1-dt-diagnostico_alcaldia_1.pdf]

FAO, 1983.

Guerrero M., Eugenia. Escobar, J., Eficiencia técnica de la producción de panela, Universidad del Bosque. Grupo de investigación Agua, Salud y Ambiente. 2015.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 909 del 5 de junio de 2008, por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.

Morales, A., s.f. Construcción y manejo de hornos de ladrillo para fabricar carbón . Comisión Nacional Forestal - CONAFOR

Molina., P. Como hacer hornos de barro. Buenos Aires. Grupo editor la Grulla. S.A., 2005.

Swisscontact, Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC), Brick Production Inciative. Technology Training Nodes in Latin America and Training Manuals for Asia and Latin America, Report on the scientific assessment of successful technology cases in LAC. junio, 2015.

9. Anexos

Anexo 1. Resolución 0581 del 05 de mayo de 2023.

Anexo 2. Formato denominado ISOCALC.

Anexo 3. Informe Isocinético COMNAMBIENTE S.A.S.

Anexo 4. Plano Cortes.

Anexo 5. Plano Fachadas.

Anexo 6. Plano Perfiles.