 Vigilada Mineducación	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS	CÓDIGO	FO-GS-15
		VERSIÓN	02
ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		FECHA	0807/2020
		PÁGINA	1 de 214
ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca	Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): GEOVANNY ANDRES APELLIDOS: PALACIOS LAROTTA

NOMBRE(S): PEDRO JAHIR APELLIDOS: GOMEZ SIERRA

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): LUIS EMILIO APELLIDOS: VERA DUARTE

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): EVALUACIÓN DE LA COMBUSTIÓN DE LOS HORNOS COLMENA DE LA EMPRESA CERÁMICAS AMÉRICA S.A CON INYECCIÓN DE AIRE Y SUMINISTRO DE CARBÓN MANUAL

El presente documento tiene como propósito presentar la evaluación de la combustión de los hornos colmena de la empresa Cerámicas América S. A con inyección de aire y suministro de carbón manual, para el cual se realizó una investigación y recolección de datos en los procesos de la zona de cocción de la empresa; esto con el fin de conocer el estado de producción de los hornos y así plantear objetivos y alcances del proyecto. La metodología empleada para el desarrollo de este proyecto fue de tipo enfoque cuantitativo, exploratoria descriptiva. Donde se realizó una serie de pasos para la solución de este proyecto, como un balance energético del horno para conocer su eficiencia, el modelamiento en 3D del horno y posteriormente la simulación de la combustión interna del horno por medio del paquete computacional ANSYS –FLUENT; licencia que posee la universidad francisco de paula Santander. Los resultados obtenidos en el desarrollo de la simulación fueron de gran ayuda a la hora de conocer el comportamiento de temperatura y flujos de gases producto de la combustión interna del horno, como también la variación de temperaturas de la materia prima dentro del horno.

PALABRAS CLAVES: Combustión, simulación, horno colmena, temperatura, inyección.

PÁGINAS: 213 P L A N O S : ILUSTRACIONES: CD ROOM:

EVALUACIÓN DE LA COMBUSTIÓN DE LOS HORNOS COLMENA DE LA EMPRESA
CERÁMICAS AMÉRICA S.A CON INYECCIÓN DE AIRE Y SUMINISTRO DE CARBÓN
MANUAL

GEOVANNY ANDRES PALACIOS LAROTTA

PEDRO JAHIR GOMEZ SIERRA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2020

EVALUACIÓN DE LA COMBUSTIÓN DE LOS HORNOS COLMENA DE LA
EMPRESA CERÁMICAS AMÉRICA S.A CON INYECCIÓN DE AIRE Y SUMINISTRO DE
CARBÓN MANUAL

GEOVANNY ANDRES PALACIOS LAROTTA

PEDRO JAHIR GOMEZ SIERRA

Trabajo de grado presentado en la modalidad de trabajo dirigido como requisito para optar al
título de Ingeniero Mecánico.

Director:

ING. LUIS EMILIO VERA DUARTE

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2020



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: CÚCUTA, 22 MAYO DE 2020 **HORA:** 04:00 PM

LUGAR: SUSTENTACIÓN VIRTUAL

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA MECÁNICA

Título de la Tesis: "EVALUACIÓN DE LA COMBUSTIÓN DE LOS HORNOS COLMENA DE LA EMPRESA CERÁMICAS AMÉRICA S.A CON INYECCIÓN DE AIRE Y SUMINISTRO DE CARBÓN MANUAL"

Jurados: ING. FAUSTINO MORENO GAMBOA
 ING. RAFAEL EUGENIO LÓPEZ

Director: ING. LUIS EMIRO VERA DUARTE

Nombre de los estudiantes	Código	Calificación	
		Letra	Número
GEOVANNY ANDRES PALACIOS LAROTTA	1121141	CUATRO, SIETE	4,7
PEDRO JAHIR GOMEZ SIERRA	1121122	CUATRO, SIETE	4,7

MERITORIA

FIRMA DE JURADO

ING. FAUSTINO MORENO GAMBOA

ING. RAFAEL EUGENIO LÓPEZ

Vo.Bo
GONZALO DE LA CRUZ ROMERO GARCIA
Coordinador Comité Curricular
Ingeniería Mecánica



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA
LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y LA
PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Cúcuta,
señores
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS

Cordial saludo

PEDRO JAHIR GOMEZ SIERRA Y GEOVANNY ANDRES PALACIOS LAROTTA, identificado(s) con la C.C. N.º 1090456084 Y 1093787779, autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado, EVALUACIÓN DE LA COMBUSTIÓN DE LOS HORNOS COLMENA DE LA EMPRESA CERÁMICAS AMÉRICA S.A CON INYECCIÓN DE AIRE Y SUMINISTRO DE CARBÓN MANUAL. presentado y aprobado en el año 2020, como requisito para optar al título de INGENIERO MECÁNICO; autorizo(amos) a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que, con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página web de la Biblioteca Eduardo Cote Lamus y en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet etc.; y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Lo anterior, de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la ley 1982 y el artículo 11 de la decisión andina 351 de 1993, que establece que “**los derechos morales del trabajo son propiedad de los autores**”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Pedro Gómez 1090456084

FIRMA Y CEDULA

Geovanny Palacios 1093787779

FIRMA Y CEDULA

Resumen

El presente documento tiene como propósito presentar la evaluación de la combustión de los hornos colmena de la empresa Cerámicas América S. A con inyección de aire y suministro de carbón manual, para el cual se realizó una investigación y recolección de datos en los procesos de la zona de cocción de la empresa; esto con el fin de conocer el estado de producción de los hornos y así plantear objetivos y alcances del proyecto. La metodología empleada para el desarrollo de este proyecto fue de tipo enfoque cuantitativo, exploratoria descriptiva. Donde se realizó una serie de pasos para la solución de este proyecto, como un balance energético del horno para conocer su eficiencia, el modelamiento en 3D del horno y posteriormente la simulación de la combustión interna del horno por medio del paquete computacional ANSYS –FLUENT; licencia que posee la universidad francisco de paula Santander. Los resultados obtenidos en el desarrollo de la simulación fueron de gran ayuda a la hora de conocer el comportamiento de temperatura y flujos de gases producto de la combustión interna del horno, como también la variación de temperaturas de la materia prima dentro del horno.

Palabras claves: Combustión, simulación, horno colmena, temperatura, inyección.

Abstract

The purpose of this document is to present the evaluation of the combustion of the hive furnaces of the company Cerámicas América S. A with air injection and manual coal supply, for which an investigation and data collection were carried out in the processes of the cooking area of the company; this in order to know the production status of the furnaces and thus set objectives and scope of the project. The methodology used for the development of this project was of a quantitative, descriptive exploratory approach. Where a series of steps was carried out for the solution of this project, such as an energy balance of the furnace to know its efficiency, the 3D modeling of the furnace and later the simulation of the internal combustion of the furnace by means of the ANSYS-FLUENT computer package; license held by the Francisco de Paula Santander University. The results obtained in the development of the simulation were of great help in knowing the behavior of temperature and gas flows resulting from the internal combustion of the furnace, as well as the variation in temperatures of the raw material inside the furnace.

Keywords: combustion, simulation, hive furnace, temperature, injection.

Tabla de contenido

Introducción	21
1. Presentación general	23
1.1 Título	23
1.2 Formulación del problema	23
1.3 Planteamiento del problema	23
1.4 Justificación	25
1.5 Objetivos	27
1.5.1 Objetivo general	27
1.5.2 Objetivos específicos	27
1.6 Alcances y delimitaciones	27
1.6.1 Alcance	27
1.6.2 Limitación y delimitaciones	28
1.6.2.1 Limitaciones	28
1.6.2.2 Delimitaciones	28
2. Marco referencial	30
2.1 Antecedentes en la solución del problema	30
2.2 Marco teórico	34
2.2.1 Combustión	34
2.2.2 Combustible	35
2.2.3 Combustibles sólidos	35
2.2.3.1 Carbón	35
2.2.3.1.1 Clasificación del carbón	36

2.2.3.1.2 Análisis químico del carbón	38
2.2.3 Bases teóricas	40
2.2.3.1 Ley de Fourier	40
2.2.3.2 Ley de enfriamiento de newton	40
2.2.3.3 Ley de stefan-boltzmann	41
2.2.4 La transferencia de calor	42
2.2.4.1 Calor sensible	44
2.2.5 Aire de la combustión	45
2.2.5.1 Tipos de reacciones según la cantidad de aire	46
2.2.5.2 Exceso de aire	47
2.2.5.2.1 Consecuencias de trabajar con exceso de aire	48
2.2.5.2.2 El aire de combustión primario y secundario	49
2.2.6 Tipos de hornos en la industria	51
2.2.6.1 Horno colmena	52
2.2.6.2 Horno de fuego dormido	53
2.2.7.3 Horno árabe	54
2.2.7.3 Horno Hoffman	54
2.2.7.4 Hornos túnel	55
2.2.7 Productos	55
2.2.8 Descripción del proceso productivo de cerámicas América S.A.	57
2.2.8.1 Extracción de la materia prima	57
2.2.8.2 Preparación de la materia prima	58
2.2.8.3 Moldeo	61

2.2.8.4	Secado	63
2.2.8.5	Cocción	66
2.2.8.6	Zona de almacenamiento del producto terminado y productos de la empresa cerámicas S.A.	69
2.3	Marco conceptual	70
2.3.1	Generalidades	70
2.3.2	Definición de conceptos	72
2.3.2.1	Evaluar	72
2.3.2.2	Eficiencia	73
2.3.2.3	Eficiencia térmica	74
2.3.2.4	Evaluación de la eficiencia térmica	75
2.3.2.5	Horno	75
2.3.2.6	Horno colmena	76
2.3.2.6	Ladrillera	77
2.3.2.6	Ladrillo de arcilla	77
2.3.2.7	Inyección de aire	78
2.3.2.8	Carbón	78
2.3.2.9	Suministro manual de carbón	79
2.4	Fundamentos legales	79
2.4.1	Norma Técnica Colombiana NTC 6033	79
2.4.1.1	Requisitos para materias primas, componentes e insumos	79
2.4.1.2	Fabricación	80
2.4.2	Resolución número 6982 (Diciembre 27 DE 2011)	82

3.	Diseño metodológico	91
3.1	Tipo de investigación	91
3.2	Fuentes de información	91
3.2.1	Fuentes de información primaria	91
3.2.2	Fuentes de información secundaria	91
3.3	Técnicas y procedimientos para la recolección de información	92
3.4	Análisis de la información	93
4.	Balance térmico	94
4.1	Instrumentos de medición	95
4.1.1	Termopares tipo K	95
4.1.2	Registrador de datos (DATA LOGGER)	95
4.1.3	Sensor de temperatura con placa Arduino	96
4.1.4	Pirómetro óptico	97
4.2	Evaluación termodinámica del horno colmena de tiro invertido	97
4.2.1	Calor total aportado al horno (Q_T)	99
4.2.2	Acumulación de calor en mampostería (Q_m)	99
4.2.2.1	Volumen de la pared	101
4.2.2.2	El volumen de la cúpula	102
4.2.2.3	Volumen de los deflectores	103
4.2.2.4	Volumen del piso del horno	103
4.2.2.5	Volumen del túnel principal	104
4.2.2.6	El volumen por muros de apoyos de las falcas	104
4.2.2.7	El volumen del túnel periférico	105

4.2.2.8	El volumen de las falcas	105
4.2.3	Calor por carga del material a cocer (Q_{cm})	107
4.2.4	Calor para sacar la humedad del material (Q_{wm})	108
4.2.5	Calor necesario para la descomposición química de la arcilla (Q_{da})	108
4.2.6	Calor por humedad del carbón (Q_{wc})	109
4.2.7	Calor por agua formada en la combustión (Q_{ac})	110
4.2.8	Calor por humedad de aire (Q_{wa})	111
4.2.9	Calor por inquemados (Q_i)	114
4.2.10	Calor perdido por la cúpula (Q_c)	115
4.2.10.1	Para el segmento esférico uno	115
4.2.10.2	Para el segmento esférico truncado dos	117
4.2.10.3	Para el segmento esférico truncado tres	119
4.2.11	Calor perdido por pared (Q_p)	120
4.2.12	Calor por los humos (Q_h)	121
4.2.13	Perdidas intangibles (Q_{in})	122
4.2.14	Rendimientos del horno	123
4.2.14.1	Por calor real utilizado para la cocción del material	124
4.2.14.2	Cantidad de calor por kilogramo material cocido	124
5.	Simulación del horno colmena	125
5.1	Geometría del horno a simular	125
5.2	Dominio del horno a simular	127
5.3	Subdominio masa de coccion	128
5.3.1	Cálculo de porosidad de la masa de cocción	128

5.3.2	Cálculo de calor requerido para la cocción de la masa de arcilla	132
5.4	Simulación tridimensional	135
5.5	Enmallado	135
5.6	Setup (Preparar)	138
5.6.1	Ecuaciones teóricas base para el análisis	139
5.6.1.1	Ecuación de la continuidad	139
5.6.1.2	Ecuación para la cantidad de movimiento o ecuación de Navier Stokes	139
5.6.1.3	Ecuación de energía	140
5.6.1.4	Ecuación de componente	140
5.6.2	Modelo K- ω -SST	140
5.6.3	Radiación P1	140
5.6.3.1	Características de modelo de radiación P1	141
5.6.4	Especies, modelo no premezclado	142
5.6.5	Materiales	142
5.6.6	Condiciones de frontera	143
5.6.7	Condiciones de borde	143
5.6.7.1	Cálculo de flujo de aire primario y secundario	143
5.6.7.2	Cálculo de flujo de carbón	145
5.7	Resultados obtenidos	146
6.	Sistema de inyección de aire	156
6.1	Aire necesario en la combustión	156
6.2	Velocidad de los ductos	159
6.2.1	Velocidad sección AB	159

6.2.2	Velocidad sección BC.	160
6.2.3	Velocidad sección CD	160
6.3	Perdidas por tuberías	160
6.3.1	Perdida por tuberías en las secciones AB,BC,CD.	162
6.3.1.1	Tubería sección AB	162
6.3.1.2	Tubería sección BC	163
6.3.1.3	Tubería sección CD	164
6.4	Perdidas por accesorios	164
6.4.1	Codos	165
6.4.1.1	Perdida por codos en la sección AB,CD	166
6.4.2	Contracción	167
6.4.3	Y simétrica	168
6.5	Perdidas totales del sistema de inyección de aire	169
6.6	Selección del ventilador	169
6.7	Caracterización válvula tipo globo	171
6.7.1	Registro de velocidades	171
6.8	Presupuesto	174
7.	Conclusiones	175
8.	Recomendaciones	177
9.	Referencias bibliográficas	179
	Anexos	184

Lista tablas

Tabla 1. Composición media del aire.	45
Tabla 2. Tipos de horno.	51
Tabla 3. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia.	83
Tabla 4. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia industrias nuevas.	85
Tabla 5. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia industrias nuevas después de entrada vigencia resolución.	86
Tabla 6. Factor (S) por contaminante.	88
Tabla 7. Factores de aire recomendados.	113
Tabla 8. Balance Termodinámico del horno colmena de tiro invertido.	122
Tabla 9. Factor de fricción para tubería acero comercial.	166
Tabla 10. Factores de pérdida para acoplamientos de ductos	168
Tabla 11. Velocidades con la válvula roja totalmente abierto.	172
Tabla 12. Velocidades con la válvula roja abierta a 4°	173
Tabla 13. Registro de temperaturas de cocción	184
Tabla 14. Suministro de carbón durante la cocción.	186
Tabla 15. Calor por humedad de carbón.	188
Tabla 16. Calor por agua formada en la combustión.	190
Tabla 17. Calor por humedad de aire.	192
Tabla 18. Calor por Cúpula del segmento esférico uno.	194
Tabla 19. Calor por Cúpula del segmento truncado uno.	196

Tabla 20. Calor por Cúpula del segmento truncado dos.	198
Tabla 21. Calor por pared.	200
Tabla 22. Calor por chimenea.	202

Lista figuras

Figura 1. Diagrama representativo del cambio progresivo de la materia vegetal de los carbones de diferentes yacimientos basados en la clasificación ASTM.	36
Figura 2. Abaco para calcular el aire preciso para la combustión.	49
Figura 3. Evolución de los gases sobre la parrilla de combustión.	50
Figura 4. Horno colmena de llama invertida.	53
Figura 5. Productos que produce la empresa Cerámicas América S.A.	57
Figura 6. Tolva de almacenamiento de arcilla procesada.	59
Figura 7. Zona de humidificación de la arcilla.	60
Figura 8. Molino de martillos.	60
Figura 9. motor eléctrico de la zona de extrusión.	62
Figura 10. Bomba de vacío de la zona de extrusión.	62
Figura 11. Cortadora de bloques de la zona de extrusión.	63
Figura 12. Zona de secado natural.	64
Figura 13. zona de secado artificial.	65
Figura 14. Horno colmena, proceso de carga.	67
Figura 15. Proceso de carga, al interior del horno colmena.	67
Figura 16. Zona de almacenamiento de los productos terminados.	70
Figura 17. corrección de altura.	89
Figura 18. Recolección de datos.	92
Figura 19. Instalación de termopar y datos de velocidad de aire.	93
Figura 20. Ubicación de termopares en el horno colmena.	94
Figura 21. Termopares tipo K con aislamiento cerámico.	95

Figura 22. Registrador de datos (DATALOGGER).	96
Figura 23. Sensor de temperatura con placa Arduino	96
Figura 24. Pirómetro óptico	97
Figura 25. Segmento esférico de la cúpula.	116
Figura 26. Segmento esférico truncado dos.	118
Figura 27. Segmento esférico truncado tres.	119
Figura 28. Geometría del horno colmena con corte de sección	126
Figura 29. Dominio del horno colmena a simular.	127
Figura 30. Masa de cocción a simular.	128
Figura 31. medidas de los espacios de los tableros en la cámara de cocción.	130
Figura 32. Pasos para realizar la simulación en ANSYS FLUENT.	135
Figura 33. Enmallado del horno colmena a simular.	136
Figura 34. Parámetros para el enmallado.	137
Figura 35. Condiciones de borde.	138
Figura 36. Distribución de temperaturas masa alta.	146
Figura 37. Distribución de temperaturas masa baja.	147
Figura 38. Líneas de flujo de velocidad dentro de la cámara de cocción masa alta.	148
Figura 39. Líneas de flujo de velocidad dentro de la cámara de cocción masa baja.	149
Figura 40. Líneas de flujo de presión dentro de la cámara de cocción masa alta.	150
Figura 41. Líneas de flujo de presión dentro de la cámara de cocción masa baja.	151
Figura 42. Distribución de temperaturas masa cocción alta.	152
Figura 43. Distribución de temperaturas masa cocción baja.	152
Figura 44. Distribución de temperaturas plano XZ masa alta.	153

Figura 45. Distribución de temperaturas plano xz masa baja.	154
Figura 46. Sistema de inyección de aire	157
Figura 47. Codos de Tubería	165
Figura 48. Coeficiente de resistencia contracción gradual.	167
Figura 49. Banco de pruebas.	171
Figura 50. Grados de apertura.	172
Figura 51. Toma de muestras con anemómetro	173

Lista de anexos

Anexo 1. Datos obtenidos en pruebas realizadas	184
Anexo 2. Análisis último de carbón	205
Anexo 3. Laboratorio de ensayos de arcilla	207
Anexo 4. Características ventilador centrifugo cma-545-2t-4	210

Introducción

Las arcillas de Norte de Santander tienen propiedades que las hacen diferentes a las de otras zonas del país, esto lo comprobó Manuel Mazo, empresario de Puerto Riqueño que lleva 18 años comprando productos para construcción elaborados en Norte de Santander. Los industriales de la Arcilla de Norte de Santander asociados en “Induarcilla”, organizaron un seminario en el que la empresa de ingeniería española Innovantia, explicó los procesos para la implementación de tecnologías en las fábricas ladrilleras, con el fin de mejorar la producción e iniciar la reconversión tecnológica del sector. El director comercial expuso que, con la maquinaria, la automatización y tecnificación de las fábricas de ladrillo, se pueden lograr altos índices de eficiencia energética y de calidad del producto, “Las empresas pueden pasar de producir 100 toneladas a 300, 500 toneladas o incluso más” (LA OPINION, 2018). Este fue el principal propósito del proyecto, tecnificar el proceso de cocción con resultados que garanticen mayor competitividad en el mercado nacional y la reducción de emisiones gases contaminantes.

El proyecto “evaluar eficiencia en hornos colmena con inyección de aire en la empresa Cerámicas América S.A”, busca estudiar cómo afecta la combustión de los hornos y el proceso de cocción, la inyección controlada de aire a los hornos colmena con alimentación manual de carbón, este consta de mediciones y recomendaciones, lo cual nos llevara a tener un producto final de mejor calidad, reducción de consumo de carbón, reducción en costos de manufactura y la reducción de emisiones de humos contaminantes.

En la actualidad la ladrillera América S.A produce bloques y tabelones con una tecnología que no corresponde con los estándares que maneja la competencia en cuanto a niveles de producción

y costo. Por lo anterior, se ha considerado evaluar la eficiencia que tienen los hornos colmena con alimentación manual aplicando un sistema con inyección de aire primario y secundario.

Dentro de este estudio se realizara en primer lugar un análisis de balance energético de los humos y pruebas de laboratorio al carbón utilizado en la ladrillera, con el fin de determinar la composición y el poder calorífico del combustible utilizado en los hornos colmena de la empresa; posteriormente, con ayuda de los software SolidWorks y ANSYS se observara el flujo de los gases de combustión, con base en los resultados obtenidos en la simulación se darán ciertas recomendaciones sobre la geometría del horno y modificaciones del sistema de salida de los gases hacia la chimenea.

Una vez obtenidos los resultados de los estudios anteriores, se llevará a cabo el diseño del sistema de suministro de aire secundario. Actualmente la empresa cuenta con un sistema de suministro de aire, el cual será utilizado suministro de aire primario, este se optimizará con el propósito de aumentar la eficiencia de la combustión.

1. Presentación general

1.1 Título

Evaluación de la combustión de los hornos colmena de la empresa Cerámicas América S.A con inyección de aire y suministro de carbón manual.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo varia la combustión en los hornos colmena de la empresa Cerámicas América S.A?,al inyectar aire a presión?

La solución planteada para dicho problema es hacer, en primer lugar, un análisis a los diferentes tipos de carbón que consume la empresa, determinar las necesidades de aire primario y secundario y luego balancear el sistema de suministro de aire principal existente por medio accesorios y válvulas, con el fin de tener control de los flujos de aire y posteriormente diseñar los ductos para el suministro de aire secundario.

1.3 Planteamiento del problema

La fabricación de productos de arcilla es uno de los sectores con más actividad en el departamento norte de Santander, y en efecto, esto repercute en los ámbitos social, económico y ambiental, lo que evidencia la necesidad que tienen las empresas ladrilleras de implementar recursos técnicos, con el propósito de disminuir el impacto ambiental y los costos de producción; en segunda instancia, modernizarse en pro de mejorar la calidad de sus productos, “Los empresarios del sector deben ajustar sus hornos para evitar la emisión de contaminantes, Óxidos de Nitrógenos (NOx), para lograrlo tienen que instalar equipos que funcionen con sistemas de control de emisiones. Santos Omar Monsalve, coordinador de Control de Calidad de Corponor, informó que en Norte de Santander es el departamento con más hornos tipo colmena. Según

cálculos de Corponor, de los 49 fabricantes de arcilla, sólo el 65% cumplen con la norma y las que no cumplen con esta exigencia son pequeñas y medianas industrias” (LA OPINION, 2016).

Los productos fabricados a base de material arcilloso han generado impacto social, ambiental y económico, motivo por el que las empresas han visto la necesidad de tecnificar sus procesos con el fin de mejorar la eficiencia de su producción y calidad de sus productos. En este momento el país cuenta con un total de mil novecientas veinticuatro unidades productoras de ladrillo, de las cuales el 88% está en operación. Dentro de esta cifra el Norte de Santander es uno de los departamentos pioneros en la producción nacional, representando el 14.3% del total fabricado. La industria alfarera nacional tiene entre sus principales líneas de producción el bloque H10 a base a material arcilloso, cuyas especificaciones técnicas vienen en constante ajuste a los requerimientos ambientales. Esta línea de producción es el resultado de diferentes procesos de mejoramiento en peso, tamaño y calidad, lo cual ha propiciado la demanda en el gremio de la construcción en el país (Vega & Diaz, 2012).

Cerámicas América S.A viene fabricando el bloque H8 Y H10 con gran oferta en el departamento de Norte de Santander y Atlántico principalmente para la ciudad de Barranquilla. El método de producción tradicional en Cerámicas América S.A, está conllevando a que el producto terminado no cuente con los suficientes estándares de calidad, como coloraciones muy variables debido a la poca tecnificación en los procesos y procedimientos efectuados hacen que se presenten deficiencias en la funcionalidad del producto.

junto con el personal de producción de la empresa Cerámicas América SA y observando se evidencia varios problemas, la primera y de gran importancia es el impacto ambiental que están causando debido a que no tienen control total de todos los factores que influyen en el proceso de

cocción de los bloques y tabelones los cuales son su mayor – producción , en muchas ocasiones se han visto afectada la producción cuando tienen que pasar por las pruebas isocinéticas para cumplir con la normatividad ambiental, debido al control estricto a que se debe someter el proceso para cumplir con los estándares de las normas ambientales, , esto lleva a otra problemática que se presenta en la planta la falta de tecnificación en los procesos, todas las funciones se están realizando manualmente y cualquier cambio que se ha hecho hasta el momento ha sido sin ninguna base teórica.

Otro factor muy importante y que causa grandes gastos en la empresa es la cantidad de carbón que se está utilizando en el proceso de cocción, en una entrevista realizada con los jefes de la ladrillera manifestaron la problemática, ya que la empresa adquiere carbón de distintos proveedores sin saber su composición y poder calorífico, la única evaluación que hace el personal de producción es inspección visual en el que califican el tipo de carbón con la cantidad de ceniza que este produce en el proceso de cocción en los hornos colmena.

En la actualidad la empresa está en búsqueda de la tecnificación de su planta de producción, pero un gran problema que están presentando es que todos los ensayos o pruebas que han hecho con el fin de mejorar la eficiencia de la combustión ha sido de forma empírica, ya que los encargados de la planta de producción se basan en su gran experiencia en el sector ladrillero y no están realizando los cálculos y pruebas pertinentes para obtener el mayor rendimiento de este proceso.

1.4 Justificación

La empresa ladrillera América S.A ubicada en el municipio de los Patios Norte de Santander, tiene como razón social la producción comercialización y distribución de bloques H10, H8 y

tabelones. Para esta empresa es de vital importancia aprovechar al máximo todos sus recursos, logrando obtener así mayor producción, posicionándose en el mercado; sin embargo, la empresa actualmente está pasando por un periodo de tecnificación de su planta de producción.

La necesidad de reducir los gases contaminantes, aumentar la calidad del producto final y disminuir el consumo de carbón, sumado a la poca automatización, son las principales razones por la que se incentiva a evaluar la eficiencia de los hornos colmena de la ladrillera América S. A, tecnificar el diseño existente de suministro de aire principal y diseñar un sistema de flujo de aire secundario. Hoy en día en el sector ladrillero se presentan inconvenientes durante el proceso de cocción utilizando los hornos colmena, ya que no se tiene control del flujo de aire suministrado y la cantidad de carbón, sumando que en ocasiones no se alcanzan las temperaturas deseadas.

Una de las principales necesidades en la producción de elementos cerámicos, es aumentar la eficiencia energética de sus hornos, ya que gran parte de la energía utilizada como combustible no es aprovechada por las pérdidas de calor que se presentan. Con este proyecto denominado “Evaluación de la eficiencia térmica de los hornos colmena de la empresa Cerámicas América S.A con inyección de aire y suministro de carbón manual”. se busca poner en práctica los conocimientos adquiridos durante el transcurso del programa de ingeniería mecánica, enfocándonos en la línea térmica para la evaluación de la eficiencia de la combustión de los hornos colmena, con el fin de evaluar el diseño existente y diseñar el ducto de flujo de aire secundario que mejore el proceso de combustión. Además de esto, se quiere homogeneizar la temperatura al interior de los hornos, con el objetivo de unificar el color de las piezas y disminuir la pérdida de estas, por fracturación debido a un exceso de calor. Es clave utilizar herramientas computacionales que nos permitirán observar el comportamiento de los gases dentro del horno hasta la salida de la

chimenea, y a su vez realizar pruebas de laboratorio a los tipos de carbón implementados en la empresa Cerámicas América S.A, y bajo parámetros de diseño de ductos y selección de ventiladores con la potencia adecuada, utilizando los catálogos de los proveedores conocidos en el sector de la industria.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general.

Evaluar la combustión de los hornos colmena ubicados en la empresa Cerámicas América S.A. con inyección de aire y suministro de carbón manual.

1.5.2 Objetivos específicos.

- ✓ Realizar un balance energético de los hornos colmena y hacer un análisis de los tipos de carbón utilizados en la empresa América S.A.
- ✓ Evaluar y dar recomendaciones sobre el sistema de salida de los gases de combustión implementados actualmente en los hornos colmena de la ladrillera América S.A.
- ✓ Balancear los flujos de aire primario del sistema de inyección existente.
- ✓ Diseñar el sistema de ductos secundarios de aire y dar recomendación de la cantidad de aire que debe circular.

1.6 Alcances y delimitaciones

1.6.1 Alcance.

De las principales ventajas que se van a obtener de este proyecto realizado en la ladrillera América S.A, ubicada en el municipio de los Patios Norte de Santander, será la propuesta para la reducción del impacto ambiental, mejoramiento del producto final y disminución del consumo de carbón, También se busca concientizar al sector ladrillero Nortesantandereano sobre la

importancia de realizar estudios con bases científicas y realizar modificaciones técnicas que beneficien a la industria. Inculcando a su vez una investigación y diseño que ayudará el mejoramiento de la industria ladrillera a nivel del departamento de norte de Santander y a nivel nacional, ya que le permitirá al sector tener un avance en la eficiencia de los hornos colmena con el fin de incrementar los activos de la empresa y cumplir con todas las normas y controles ambientales a las cuales están sometidas.

1.6.2 Limitación y delimitaciones.

1.6.2.1 Limitaciones.

El tema de abordaje de este proyecto no tiene suficiente sustento teórico, por lo tanto, gran parte de la información será a través del trabajo de campo.

La empresa Cerámicas América S.A, no cuenta con los instrumentos necesarios para la recolección de datos, por lo cual nos vemos en la necesidad de adquirirlos por medios externos para la realización del proyecto.

1.6.2.2 Delimitaciones.

Geográfica: el proyecto se realizará en la planta física de la ladrillera América S.A de la ciudad de Cúcuta, norte de Santander, teniendo en cuenta que es el área donde se encuentran los hornos colmena y la universidad Francisco de Paula Santander

Conceptual: Para el desarrollo del proyecto se abarcan temas acerca de la evaluación eficiencia termodinámica de los hornos colmena de la ladrillera América S.A, Flujos de energía en hornos, análisis energético del carbón y los hornos, sistemas de adquisición de perfiles de temperatura y caudal a través de instrumentación adecuada, balance de los sistemas de inyección de aire

empleados para evaluar la eficiencia energética y cumplimiento referente a planes de producción y en software y simulación de procesos.

Operativa: Se tomaron los datos de temperaturas a través de un sistema de un pirómetro en los puntos de interés del proceso de cocción del horno colmena de forma satisfactoria y la cantidad de caudal de aire que fluye en el sistema de aire primario con instrumentos de precisión para dichos parámetros. Cualquier inconveniente que amerite modificaciones significativas, será consultado con el gerente de la empresa, el director del proyecto y comunicado al comité curricular.

2. Marco referencial

2.1 Antecedentes en la solución del problema

En el ámbito internacional (Salvador Ferrer , 2016) en su trabajo de tesis doctoral “Análisis Energético y Exegético del proceso de cocción de composiciones cerámicas” se ha aplicado una completa metodología de análisis energético en un horno industrial dedicado a la fabricación de baldosas cerámicas de gres porcelánico. Para ello, además de los balances de materia y de energía que en estos equipos realmente se limitan a un balance de entalpía y de calor, utilizando el primer principio de la termodinámica, se han realizado los balances de entropía y exergía aplicando el segundo principio de la termodinámica.

Además, Los resultados obtenidos y la metodología desarrollada en este estudio permiten calcular la energía involucrada en la cocción de composiciones cerámicas tradicionales. Sin embargo, este cálculo no se limita solo a las composiciones estudiadas. La metodología puede ser útil para el estudio de otras composiciones cerámicas. El método analítico desarrollado puede ser utilizado en estudios de simulación y optimización de la formulación de materias primas; en estudios energéticos industriales (por ejemplo, en la elaboración de balances energéticos o en la estimación de la eficiencia del horno), así como también en estudios ambientales (como, por ejemplo, en la evaluación del ciclo de vida o en la medida de las emisiones de dióxido de carbono o huella de carbono).

En el ambito nacional (Guerrero Gómez, 2017) en su tesis "Hornos de combustión: alternativas de reducción de emisiones e incremento de rentabilidad" tuvo como objetivo detectar el problema que tienen las empresas ladrilleras del municipio de ocaña dedicadas a la produccion de productos ceramicos detectando baja calidad de sus productos, el aumento en el consumo de

combustible y de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. la muestra la comprendieron dos empresas ladrilleras para el estudio, una artesanal, la ladrillera el Recreo 2 que posee un horno circular a cielo abierto y la ladrillera Ocaña, que cuenta con un horno continuo tipo Hoffman de forma rectangular, en la que se reutilizan los gases producto de la combustión.

Asi mismo recomendo que es posible introducir cambios operativos, la aplicación más difícil, pero más eficiente. Uno de ellos es cambiar el diseño del horno que conduzca a la reutilización de los gases de escape para ellos sería dirigirlos hacia el interior de otro horno ya preparado y cargado, causando que los gases pasan a través del interior del horno antes de ir a la chimenea, reduciendo la acción de la flotabilidad de los gases calientes, el tiempo de residencia del fluido en el interior del horno, mejore la combustión del carbón y disminuya las emisiones emitidas a la atmosfera. Así, los gases calientes harían intercambio de calor entre sí, proporcionando un precalentamiento de la siguiente carga de productos. La producción de los hornos será de forma secuencial y en ciclos, elevando su temperatura y logrando que el gradiente de temperatura sea vertical. Este cambio requiere sólo unas pocas obras en la ladrillera. Para este fin Los gases calientes pueden ser recuperados y podrían ser utilizados en el secado del material o incluso para calentar otros productos que se encuentran en un horno contiguo. Otro aspecto en la adecuación en los hornos es la construcción de la chimenea la cual mejoraría el tiro en el horno y facilitará el oxígeno para que la combustión sea completa.

(Areiza Martinez, 2014), en su proyecto de grado “ Modelado, simulación y desarrollo de un análisis de eficiencia energética en un horno ladrillero tipo bóveda en condiciones de estado estacionario”.tuvo como objetivo encontrar mejoras considerables en la eficiencia energética y el proceso de cocción de los hornos tipo bóveda mediante la realización de modificaciones sobre

las geometrías originales y características de estos tipos de horno o mediante la implementación de métodos de insuflación de aire caliente diferentes a los ya utilizados hoy en día; también mediante el uso de combustibles de menor coste medioambiental. Dichos conceptos han sido aplicados en diferentes ladrilleras artesanales en todo Latinoamérica con el fin de reducir tanto como sea posible los índices de emisiones pero alcanzando la mayor eficiencia que el sistema pueda alcanzar.

se evidencio que el uso de un quemador en las entradas del horno como método para el aprovisionamiento de aire, aumenta en gran porcentaje la eficiencia energética del proceso, sin importar el tamaño del mismo. También, la instalación de paredes guía como piso soporte para la masa porosa contribuyó, al igual que el uso de la recircularon de los gases de escape como método para precalentar el aire antes de entrar a la cámara de combustión del quemador, a mejorar la eficiencia energética del Horno.

En el ambito local (Sanchez Molina, Gelves, & Ramirez, 2012) en su investigacion “Implementación de un sistema tipo scada para mejorar los procesos de secado y cocción de la ladrillera sigma ltda” se centro en la implementación de un sistema de monitoreo para las operaciones de secado y cocción de la empresa, así como la automatización de los alimentadores de carbón utilizados en los hornos de llama invertida. El desarrollo realizado es único en el país para este tipo de hornos. El diseño esta basado en el uso de controladores lógicos programables PLC, tarjetas electrónicas con microcontroladores, sensores electrónicos, aplicaciones para enlace visual con el operario tipo SCADA, variadores de frecuencia para el control de los stocker y el uso de la comunicación inalámbrica para envío y recepción de datos con el servidor.

Los resultados obtenidos en el primer mes de funcionamiento han dejado ver aumentos en la eficiencia de los procesos de secado y cocción. En cuanto a los tiempos de cocción y al consumo energético de los hornos no se presentó una tendencia definida, en algunos casos se logró reducir estas variables, se espera buenos resultados en el mediano y largo plazo, se está trabajando en otras variables que influyen directamente sobre el tiempo y el consumo, como lo son la calidad del carbón utilizado y la granulometría del mismo. El diseño implementado para el control de los alimentadores tipo stocker funciona correctamente, pero aun es necesario algunos ajustes en las curvas patrón que se están utilizando.

(Jacome, 2012) en su tesis de grado “Evaluación termodinámica del proceso de cocción y análisis de gases en hornos a cielo abierto y hoffman en ocaña” en su investigación realizó la evaluación termodinámica del proceso de cocción en tres hornos ladrilleros del municipio de ocaña, de acuerdo a su geometría (tipo hoffman, circular y rectangular), donde se evaluó las pérdidas de calor presentes en cada uno y se caracteriza numéricamente la eficiencia energética de los mismos. Se realizaron pruebas a los gases emitidos en cada empresa, por medio de un analizador de humos de combustión, para determinar si las emisiones enviadas a la atmósfera están cumpliendo con las normas de calidad del aire. La muestra que se estableció para el desarrollo del proyecto fue de tres hornos. El Hoffman de la ladrillera Ocaña, uno circular de la ladrillera el Recreo 2 y uno rectangular de la ladrillera el Estanco.

Además gracias a la medición de los gases, se encontró que los hornos artesanales presentan un alto exceso de aire mayor al 62% recomendado para la combustión del carbón, donde el horno circular está un 282,2% de exceso de aire por encima del valor requerido y el Circular se

encuentra un 161,38% de aumento. De esta manera el fenómeno ocasiona que el proceso de combustión del carbón no sea completa.

2.2 Marco teorico

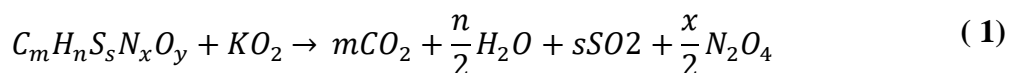
2.2.1 Combustión.

La combustión se define como una parte de la termodinámica que estudia los procesos de generación de energía, cuando se oxida o se quema un combustible.

El proceso de combustión es una reacción química exotérmica que consiste en la oxidación rápida de un combustible con desprendimiento de calor y luz, donde se debe considerar también la composición de los gases producidos (humos) (Vera Duarte, 2016).

Los combustibles están formados por carbón (C) + hidróxido de azufre (H₂S) + nitrógeno (N₂) + agua (H₂O) + oxígeno (O₂), para combustibles sólidos se agregan las cenizas (a). El comburente es el oxígeno (O₂), que generalmente es tomado del aire ambiente.

Los combustibles referenciados por los elementos componentes se describen por la fórmula aparente C_mH_nS_sN_xO_y. La reacción para la combustión completa de este hidrocarburo con oxígeno se muestra en la ecuación 2-1:



En la que el oxígeno mínimo requerido (O₂) para una combustión completa se establece por la ecuación 2 (Vera Duarte, 2016).

$$k = m + \frac{n}{4} + s + x - \frac{y}{2} \quad (2)$$

2.2.2 Combustible.

Combustible es toda sustancia que puede quemarse, produciendo calor. Los combustibles pueden ser sólidos, líquidos y gases, ya sea en su estado natural, lignitos, coques, madera y residuos combustibles, subproducto de algún proceso de fabricación. Los combustibles líquidos contienen al petróleo y sus destilados y a los no derivados del petróleo. Dentro de los gases tenemos a los naturales que salen de la tierra y a los fabricados, que son productos obtenidos del carbón principalmente. Los elementos básicos de un combustible son carbono e hidrogeno. El azufre es también un elemento constitutivo, pero no se considera como combustible, sino como cuerpo indeseable (Esparza, 2017).

2.2.3 Combustibles sólidos.

2.2.3.1 Carbón.

El carbón constituye uno de los recursos más valiosos de la humanidad; como combustible y como fuente de productos químicos su valor es incalculable. El carbón es una mezcla de carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, agua y cenizas, todo lo cual existía en un principio, en forma de material vegetal, como árboles, helechos, musgos, lianas y otros, y quedaron enterrados en lodazales y pantanos enormes. El precursor del carbón fue la turba, que se formó por la acción bacteriana y química sobre los restos de plantas. Debido a los cambios metamórficos durante este proceso que el carbón no es una sustancia uniforme y no existen dos carbones que sean iguales en ningún aspecto (Esparza, 2017).

El tamaño del carbón al salir de la mina varía desde polvo fino hasta grandes terrones, por regla general los tamaños más pequeños contienen más impurezas y ganga, debido a la segregación; por esta razón tienen normalmente menos potencia calorífica que los tamaños grandes. Por otra parte,

para quemar menudos se necesitan equipos especiales, esto explica que los tamaños pequeños sean más baratos y como consecuencia tengan una grandísima aplicación para producir vapor en las centrales térmicas. La preparación y clasificación del carbón forman una parte esencial de la industria de la producción de carbón. Las operaciones de clasificado se llevan a cabo con machacadoras y cribadores. En el comercio existe una gran variación en los tamaños del carbón procedente de los distintos centros industriales productores de este combustible (Severns, Degler, & Miles, 2007).

2.2.3.1.1 Clasificación del carbón.

La comparación de los carbones se hace mucho mejor basándose en su materia combustible, toda vez que un contenido de cenizas y humedad varía considerablemente. La figura 1 ofrece una comparación gráfica entre carbones de varios yacimientos, definidos por la ASTM (American Society Testing Materials) Debido a la naturaleza propia del carbón no puede hacerse una clasificación completamente satisfactoria y generalmente utilizan las siguientes subdivisiones:

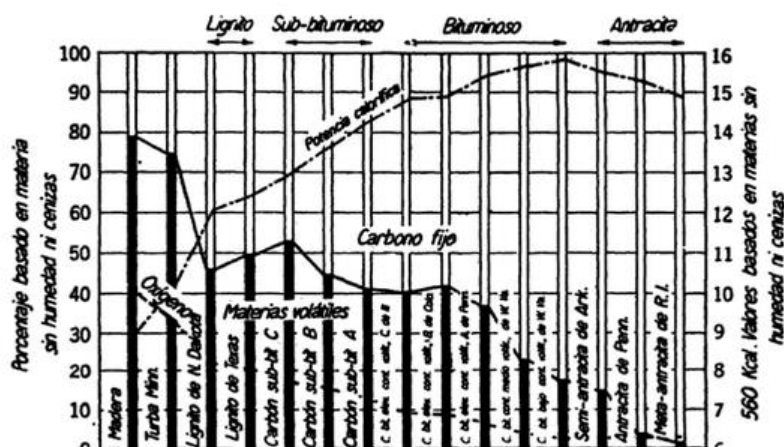


Figura 1.Diagrama representativo del cambio progresivo de la materia vegetal de los carbones de diferentes yacimientos basados en la clasificación ASTM.

Fuente: (Severns, Degler, & Miles, 2007).

Antracita: Carbón muy duro que posee un color negro lustroso brillante. No se coquifica; tiene un elevado porcentaje de carbono menos del 8% de materias volátiles. Cuesta mucho hacer arder, a menos de que la temperatura del hogar sea elevada y requiere un tiro intenso. La antracita arde sin llama o con llamas muy cortas y azuladas. Este carbón está muy indicado cuando es esencial una combustión sin humo (Severns, Degler, & Miles, 2007).

Semiantracita: Es un carbón que se encuentra en pequeñas cantidades en varias localidades de los EE. UU. y no se emplea comercialmente para producir vapor. Se diferencia principalmente de la verdadera antracita en que tiene menos carbono fijo, 8 a 14% de materias volátiles, menos lustre, y arde con llamas más largas y luminosas (Severns, Degler, & Miles, 2007).

Carbón semibituminoso: Es el carbón bituminoso de mejor calidad y arde con muy poco humo. Es más blando que la antracita, contiene de 14 a 22% de materias volátiles y tiene tendencia a romperse en trozos pequeños durante el transporte y almacenado. Esto último tiene poca importancia en la producción de vapor mientras el tamaño sea uniforme (Severns, Degler, & Miles, 2007).

Carbones bituminosos: Son “blandos”, poseen un elevado porcentaje de materias volátiles, arden con llamas largas amarillas humeantes. Su porcentaje de materias volátiles, humedad, ceniza y azufre varía considerablemente. Un carbón con muchas cenizas es aquel que tiene más del 10%. Los carbones bituminosos pueden ser coquificables y fritables; estos últimos no se hinchan ni se sueldan formando una sola masa al calentarlos, como acontece con los primeros (Severns, Degler, & Miles, 2007).

Carbones subtiuminosos: se conocen algunas veces con el nombre de lignitos negros. Son carbones bituminosos de baja calidad que han perdido la estructura leñosa de los lignitos. Los

carbones sub bituminosos se desintegran cuando se exponen al aire, y requieren mucha vigilancia mientras están almacenados. Su porcentaje de materias volátiles varía desde 35 hasta 45% y su contenido de humedad oscila entre 17 y 20% (Severns, Degler, & Miles, 2007).

Lignitos: Los lignitos constituyen el estado de transición entre la turba y el carbón sub-bituminoso. Tienen aspecto de madera y, frecuentemente, de arcilla, junto con potencias caloríficas bajas y elevado contenido de humedad y cenizas. La humedad inicial llega hasta 30±45%, pero la pierden fácilmente exponiéndolos al aire, lo cual puede producir una rápida desintegración de este combustible. De no adoptar grandes precauciones al almacenarlo están sujetos al riesgo de la combustión espontánea. Los lignitos como combustibles solo tienen interés consumiéndolos en instalaciones situadas en boca de mina (Severns, Degler, & Miles, 2007).

Como quiera que los porcentajes de los varios constituyentes de los carbones varían considerablemente, es asimismo muy variable la cantidad de calor que pueden producir por unidad de peso. Esta variación queda acusada no solamente dentro del mismo yacimiento, sino también en la misma veta e incluso en la misma mina.

2.2.3.1.2 Análisis químico del carbón.

Debido a que el carbón en su estado natural no es ni una sustancia pura ni tienen composición uniforme no se le puede adjudicar una fórmula química definida. Por este motivo sí se necesita conocer su composición, hay que analizarlo químicamente. El análisis químico y la potencia calorífica de un carbón puede expresarse de tres maneras distintas:

- Sobre el carbón tal como se recibe o quema
- Sobre el carbón seco o exento de humedad
- Sobre el carbón sin cenizas ni humedad, o sea sobre su materia combustible.

El tercer método supone que todo, excepto las cenizas y humedad, es materia que puede quemarse. El análisis químico da los resultados en porcentajes en peso bajo los epígrafes siguientes:

Humedad: la humedad de los carbones se halla como humedad superficial procedente de la atmosfera y de las operaciones de lavado; y como humedad inherente, la cual se halla ligada químicamente con la estructura del carbón. La humedad superficial se determina desecando una muestra hasta 32°C hasta que la pérdida de peso no exceda el 0,1% por hora. Este secado preliminar se hace principalmente para poner la muestra en equilibrio con el aire, con el fin de que no se produzca ninguna pérdida de humedad en los ensayos ulteriores. La humedad inherente se determina con una muestra pulverizada finamente de carbón secado al aire anotando la pérdida de peso después de haber permanecido durante 1 hora en una estufa a 105°C. La humedad total es la suma de las humedades anteriores. El carbono total es la suma del carbono fijo del contenido en las materias volátiles. El carbono fijo, o carbono sin combinar, es el que no destila cuando se le calienta y constituye el carbono de coque (Severns, Degler, & Miles, 2007).

Impurezas del carbón: La humedad, cenizas, azufre, oxígeno y nitrógeno son impurezas del carbón. Estos cuerpos juntos o por separado tienen una marcada influencia en la aplicación de un carbón para fines determinados.

La humedad no tiene valor como combustible, al evaporarla se produce una pérdida de calor que se escapa con los productos de la combustión. Las cenizas rebajan la potencia calorífica del combustible, con lo cual disminuye la cantidad de carbón que puede quemarse por hora. Además, las cenizas de ciertos carbones se funden a temperatura relativamente bajas formando escorias, las cuales deterioran los revestimientos de los hogares y originan el consiguiente gasto de su

extracción. El azufre no tiene su plena potencia calorífica si no se halla en estado libre. En forma de sulfato no tiene interés como combustible. En grandes cantidades es muy probable que forme escorias muy molestas y que los productos de su combustión corroan los metales. El oxígeno rebaja la potencia calorífica del combustible. El nitrógeno es inerte desde el punto de vista químico y análogamente a las cenizas disminuye la cantidad de energía disponible por tonelada de combustible (Severns, Degler, & Miles, 2007).

2.2.3 Bases teóricas.

2.2.3.1 Ley de Fourier.

La ley de Fourier es una ley empírica que se utiliza para cuantificar la transmisión de calor por conducción. El flujo de calor por unidad de superficie, que se transmite por conducción desde un punto P de un material, es diferente proporcional al gradiente de temperatura en dicho punto P, en la dirección de la normal.

$$\dot{q} \left(\frac{W}{m^2} \right) \propto \frac{dt}{dn} \rightarrow \dot{q} \left(\frac{W}{m^2} \right) = -k * \frac{dt}{dn} \quad (3)$$

El signo menos indica que el flujo de calor va de la zona de más temperatura a la zona de menos temperatura (Castells, 2012).

2.2.3.2 Ley de enfriamiento de newton.

la ley de enfriamiento de newton es una ley empírica que se refiere a la convección ente la superficie de un sólido y el fluido que lo rodea: el flujo de calor por unidad de superficie que se transmite por convección entre una superficie y un fluido a distinta temperatura es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas entre la superficie y el fluido (Castells, 2012).

$$\dot{q} \left(\frac{W}{m^2} \right) \propto (t_s - t_f) \rightarrow \dot{q} \left(\frac{W}{m^2} \right) = h * (t_s - t_f) \quad (4)$$

2.2.3.3 Ley de Stefan-Boltzmann.

Se denomina potencia emisiva superficial (W/m^2) a la energía liberada por unidad de área y de tiempo por una superficie. La ley de Stefan-Boltzmann establece que la potencia emisiva de una superficie es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta de dicha superficie. El límite superior de potencia emisiva lo establece el cuerpo negro. El flujo de calor emitido por cualquier superficie real es menor que el del cuerpo negro a dicha temperatura (Castells, 2012).

$$E \left(\frac{W}{m^2} \right) \propto T_s^4 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} E_b(\text{cuerpo negro}) = \sigma * T_s^4 \\ E(\text{superficie real}) = \varepsilon * \sigma * T_s^4 \end{array} \right\} \quad (5)$$

De la expresión anterior:

- $E_b (w/m^2)$:es la potencia emisiva del cuerpo negro.
- $E (w/m^2)$: es la potencia emisiva de una superficie real.
- $T (K)$: es la temperatura absoluta, en kelvin.
- σ :es la constante de Stefan-Boltzmannn: $\sigma = 5.67 * 10^{-8} W/m^2 * K^4$
- ε :es una propiedad radiactiva de la superficie denominada emisividad, que proporciona una medida de la eficiencia con que una superficie emite energía en relación con un cuerpo negro: $0 \leq \varepsilon \leq 1$

La ley de Stefan-Boltzmann se propuso basándose en pruebas experimentales. Más tarde se demostró que dicha ley podía deducirse de las leyes de la termodinámica que, por tanto, no es empírica, como las leyes de Fourier y la ley de enfriamiento de Newton (Castells, 2012).

2.2.4 La transferencia de calor.

Con independencia del tipo de horno, el calentamiento y subsiguiente vaporización y gasificación de un material está altamente influenciada por la transferencia de calor desde las paredes calientes y la bóveda del horno hacia el producto a calentar o incinerar (Castells, 2012).

Cuando el residuo a destruir tiene un poder calorífico suficiente, en cuyo caso puede utilizarse como combustible. Su entrada en el horno caliente provoca la formación de gases y vapores combustibles que son los que, en definitiva, se oxidan(queman), por tanto, para el adecuado rendimiento de la incineración es imprescindible que las paredes del horno se encuentren a cierto nivel de temperatura. Para la puesta en marcha del proceso es necesario un aporte de calor inicial para calentar las paredes a partir de ese momento, la transferencia de calor de las paredes hacia el producto hará volatilizarse el residuo cuando el gas generado entra en contacto con el oxígeno se produce la llama y los gases producto de la combustión liberan gran cantidad de calor (Castells, 2012)

Este calor liberado se invierte en mantener calientes las paredes, en el calentamiento de los residuos que entran en el proceso y en los gases calientes de combustión (calor sensible de los gases).de esta forma si el residuo es combustible la reacción se retroalimenta y se puede prescindir del aporte exterior de energía mediante combustible auxiliar, pero el principio físico siempre obedece al mismo ciclo (Castells, 2012).

Por una parte, la llama y los productos de la combustión transmiten cierta energía calorífica al producto a incinerar (fase de calentamiento) y a las paredes del horno. Esta transmisión tiene lugar principalmente por convección y radiación. Por otra parte, las paredes llevadas generalmente a una temperatura superior a la del producto a calentar, ceden a esta por radiación una cantidad de calor

importante. Finalmente, parte del calor generado durante la combustión sale con los gases calientes del horno, los cuales pueden ser aprovechados posteriormente (Castells, 2012).

Influencia de los parámetros térmicos en el balance energético de un horno. En régimen estacionario, es decir, cuando el horno alcanza la temperatura de régimen, la cantidad de calor total Q_t , aportada al horno es igual a la que sale de él.

$$Q_r = Q + Q_p + Q_g \quad (6)$$

Siendo

- Q : consumo útil
- Q_p : pérdida por transmisión a través de las paredes
- Q_g : calor arrastrado por los gases que van a la chimenea

Si entre dos periodos de trabajo se deja enfriar el horno (total o parcialmente), de modo que cada vez haya que calentar las paredes hasta la temperatura de régimen, habrá que añadir a Q_t el valor de Q_0 dado anteriormente (Castells, 2012).

Puede decirse que para correcta operación del horno se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Consumo útil:** conviene que su valor represente una parte muy importante de Q_t , la relación Q/Q_t es el “rendimiento del horno”
- **Perdida por las paredes:** como es necesario suministrar Q_p se obliga a un consumo suplementario de combustible convendrá estimar estas pérdidas con precisión.

- **Aislamiento:** cuanto más alta sea la temperatura del horno, tanto mayor el valor adquieren las pérdidas Q_p por transmisión a través de las paredes. La parte de ellas debida a la conducción se reducen mucho empleando, materiales con coeficiente de conductividad pequeños.
- **Perdida de calor sensible de los humos:** los productos de la combustión que van a la chimenea (gases del horno) arrastran calor sensible que se pierde emitiéndolo a la atmosfera. Esta pérdida puede reducirse disminuyendo el exceso de aire y empleando combustibles de buena calidad. De todas maneras, el factor que más influye en esta pérdida es la temperatura de salida de los gases, porque al aumentar esta crece también el calor específico de los gases.
- **Perdida ocasionada por la fuga de gases:** en los hornos que trabajan con presión interna positiva, el mal ajuste de las puertas de trabajo puede producir fugas de los gases originando una pérdida adicional.

2.2.4.1 Calor sensible.

El calor sensible es el calor absorbido: calor de calentamiento (o cedido: calor de enfriamiento) por una sustancia para elevar (o disminuir) su temperatura, siempre y cuando en el transcurso del calentamiento (o enfriamiento) no se hayan producido ni cambios de estado ni reacciones químicas. El calor sensible se puede determinar mediante la fórmula:

$$Q_s = m * C_{pm} * \Delta T \quad (7)$$

Donde:

- $Q_s = \text{calor sensible}$
- $m = \text{masa de la sustancia}$

- C_{pm} = calor específico medio entre la temperatura inicial y la final
- ΔT = diferencia entre temperatura inicial y final

El calor sensible influye en dos aspectos muy importantes de las reacciones químicas

Aporta energía de activación, necesaria para que se inicien las reacciones

Controla muy directamente la cinética de las reacciones

2.2.5 Aire de la combustión.

Se utiliza aire como comburente por ser la fuente de oxígeno más abundante, barata y fácil de manejar. El aire es una mezcla de gases con la siguiente composición media, sin embargo, según las circunstancias geográficas y meteorológicas, pueden presentarse trazas de otros compuestos como: monóxido de carbono, anhídrido sulfuroso, hidrocarburos ligeros y ozono. También contiene vapor de agua en mayor o menor porción dependiendo de la climatología.

- Nitrógeno: 79% en volumen (77% en peso)
- Oxígeno: 21% en volumen (23% en peso)

Tabla 1. Composición media del aire.

Composición media del aire (1%=10 ⁴ ppm)		
Elementos	En porcentaje apreciable (% de volumen)	En pequeña proporción parte por millón (ppm)
Nitrógeno	78,084 [±] ₋ 0,004	
Oxígeno	20,946 [±] ₋ 0,002	
Anhídrido carbónico	0,033 [±] ₋ 0,001	

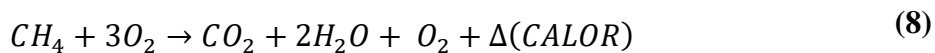
Argón	0,934 [±] ₋ 0,001
Neón	18,180 [±] ₋ 0,040
Helio	5,250 [±] ₋ 0,004
Criptón	1,140 [±] ₋ 0,010
Xenón	0,0087 [±] ₋ 0,001

Fuente: (Vera Duarte, 2016)

2.2.5.1 Tipos de reacciones según la cantidad de aire.

La cantidad de aire juega un papel fundamental en las reacciones y da lugar a una primera clasificación de las reacciones de combustión. Tomando el caso del metano para simplificar, se pueden distinguir en tres tipos básicos de combustiones (Castells, 2012).

Completas: Son aquellas en las que los gases de combustión no contienen inquemados, con independencia del exceso de aire empleado (todos los productos de la combustión están oxidados, así pues, en los gases de combustión solo existirá; CO_2 , H_2O , N_2 y cantidades variables de O_2 la reacción típica es:

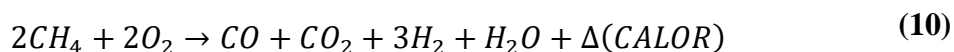


Estequiométrica: Es aquella combustión completa que se ha llevado a cabo sin exceso (ni defecto) de aire. Esta condición es necesaria pero no suficiente, ya que además la mezcla combustible comburente debe ser total y homogénea, en caso contrario, había zonas en las que las moléculas del combustible no encontrarían a las moléculas del comburente, si se cumplen estas

condiciones obviamente los únicos productos de las combustiones serán CO_2, H_2O, N_2 y la temperatura alcanzada será la máxima (Castells, 2012)



Incompletas: Son aquellas en las que los gases de combustión contienen compuestos parcialmente oxidados (inquemados) como el monóxido de carbono, combustibles sin oxidar como el hidrogeno, partículas de carbón, etc. estas combustiones pueden efectuarse con exceso de aire (Castells, Tratamiento y valorización energética de residuos, 2012).



2.2.5.2 Exceso de aire.

Para garantizar la adecuada mezcla de oxígeno y combustible en la realidad se trabaja con una cantidad de aire superior a la mínima teórica. Una forma de medir la cantidad de aire que se añade de más es el exceso de aire que se define como:

Exceso de aire = aire real - aire mínimo teórico

También se usa el coeficiente de exceso de aire

$$n = \frac{\text{aire real}}{\text{aire minimo}} \quad (11)$$

el exceso de aire se puede calcular a partir de la composición de los gases y la del combustible, mediante la siguiente expresión.

$$x = 0,21 \frac{\left[\left(\frac{C}{C O_2} \right) + 3 (H - 0.125 O) \right]}{[C + 3(H - 0.125)]} \quad (12)$$

Donde CO_2 es el porcentaje en volumen que hay en el gas seco. El exceso de aire se expresa generalmente como un porcentaje del requerido teóricamente:

$$\%Ea = \frac{(maa - mta)}{mta} * 100 \quad (13)$$

Donde:

- Ea: aire en exceso
- maa: cantidad real de aire empleado por kilogramo de combustible(kg)
- mta: cantidad teórica de aire requerido por combustible(kg)

2.2.5.2.1 Consecuencias de trabajar con exceso de aire.

Disminución de la temperatura de la llama: el aumento del exceso de aire implica una disminución de la temperatura de la llama, como en los hornos la trasmisión de calor en el hogar se realiza por radiación y esta es función de la potencia cuarta de la temperatura, disminuye el calor radiado en una proporción mucho más importante (Castells, 2012).

Aumento de las perdidas por chimenea: al trabajar con mayores excesos de aire, aumenta la cantidad de calor que se va al exterior del horno con los gases de combustión, Además al tener que manejar mayores volúmenes de aire y gases, aumentara el consumo de energía eléctrica absorbida en ventiladores para su circulación (Castells, 2012).

Determinación del aire preciso para la combustión: El técnico, cuando decide usar un determinado combustible se pregunta cuál ha de ser la cantidad de aire necesario para oxidarlo correctamente. Para ello existen numerosos ábacos de uso práctico, como el que se observa en la figura 2.

Estos diagramas son útiles para calcular de forma rápida el aire preciso para la combustión y/o los gases producto de la combustión para un combustible determinado. En el eje de abscisas se expone el PCI del combustible y el haz de rectas corresponde a los diversos excesos de aire (Castells, 2012).

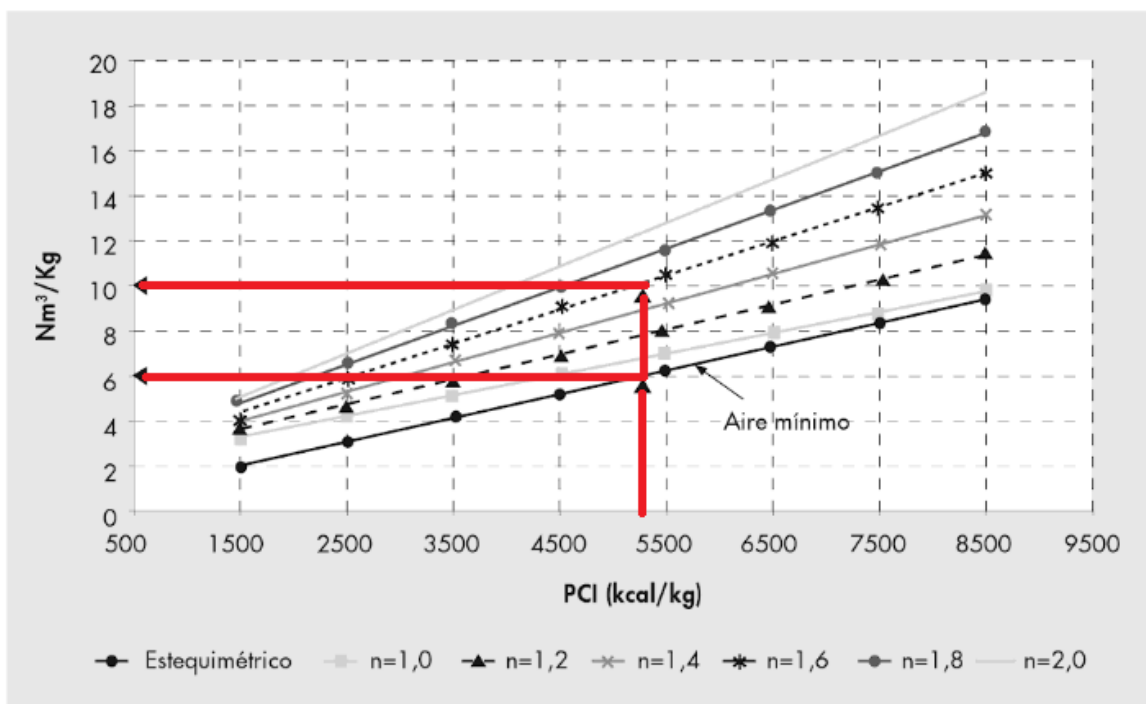


Figura 2. Abaco para calcular el aire preciso para la combustión.

Fuente: (castells, 2012).

2.2.5.2.2 El aire de combustión primario y secundario.

El oxígeno necesario para la combustión es tomado del aire. Por lo tanto, este siempre está acompañado de grandes cantidades de nitrógeno, ya que no es fácil su separación. El aire total se distribuye en aire primario y secundario e incluso aire terciario (solo para algunas tecnologías). (Castells, Tratamiento y valorización energética de residuos, 2012)

El aire primario es aquel que se inyecta por debajo de la parrilla de combustión mezclado con el combustible. Esta mezcla puede realizarse en el interior del quemador o a la salida de este, su valor representa entre el 60% y el 80% del aire total. La composición de los gases depende de la profundidad de la parrilla ver figura 3 si el grueso del lecho (un espesor correcto es de 10-15 cm) es importante se forma más CO. pero al intentar inyectar más aire se llega al equilibrio.

Se volverá a formar CO a expensas del CO_2 , O, sea la inyección de aire primario tiene su límite y el CO estará de acuerdo con la ecuación anterior. El aire secundario es el que se inyecta a la entrada de la cámara de postcombustión para después reaccionar con los gases de combustión que se han formado. Su porcentaje varía entre 20% y 40% del total. Su importancia está en evitar la formación de inquemados gaseosos. El aire terciario utilizado para refrigerar las paredes del horno con un caudal constante. El aire total (primario más secundario) no debe sobrepasar un valor que haga que el exceso medido en los gases sea muy alto para evitar el aumento de las pérdidas de calor en la chimenea (Castells, 2012).

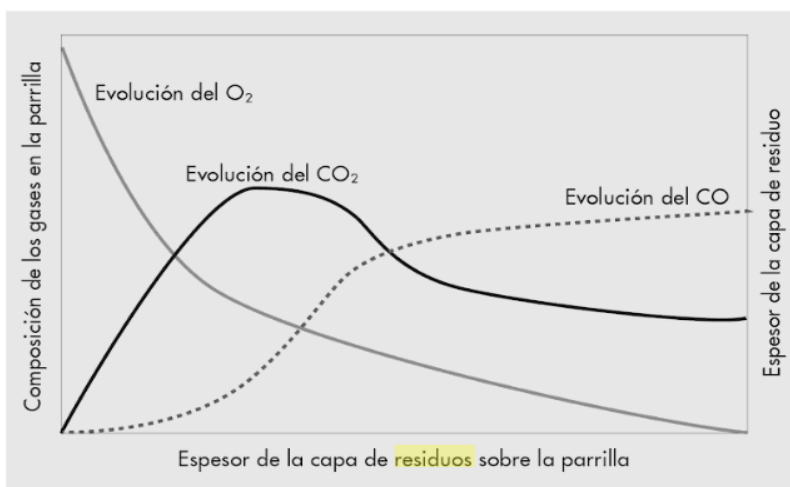


Figura 3. Evolución de los gases sobre la parrilla de combustión.

Fuente:(castells, 2012).

La distribución del aire de combustiones realizada por el sistema de control por medio de: Calculo del caudal total necesario, el cual se hace en función de la carga del horno y luego se corrige para conseguir los excesos de O_2 especificados.

Distribución entre aire primario y secundario, en función de la temperatura de los gases, el contenido de CO y de O_2 en los gases a la salida de la caldera, del tamaño del horno y de la tecnología empleada.

2.2.6 Tipos de hornos en la industria.

La producción de principalmente está dirigida a la obtención de producto de mampostería estructural, para lo cual utilizan 978 hornos entre intermitentes y continuos. Los tipos de hornos se relacionan en la Tabla 2.

Tabla 2. Tipos de horno.

TIPO DE HORNO	PARTICIPACIÓN APROXIMADA
FUEGO DORMIDO	60 %
ARABE	8 %
BAÚL	0.1%
COLMENA	20.55%
HOFFMAN	5.7%
TÚNEL	2%
RODILLOS	1.5%
SEMICONTINUO	0.7%
ZIGZAG	0.5%
VAGON	0.1%

Fuente: (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003)

Los hornos Hoffman, túnel y de rodillos se consideran como hornos tecnificados porque tienen alta capacidad de producción y niveles de contaminación menores, con relación a los demás tipos

de hornos, además presentan mejor eficiencia térmica porque realizan recuperación de calor. En este sentido, aunque el porcentaje de participación de estos hornos es bajo (9.2% del total de hornos), se destaca el grado de tecnificación utilizado por la industria ladrillera grande. En proporción, hay 7.3 hornos artesanales por cada horno tecnificado.

En la industria pequeña y en empresas medianas con tecnología tradicional (empresas categoría I y II) predominan hornos tipo colmena para el proceso de cocción y en los chircales artesanales hornos tipo fuego dormido, árabe y baúl.

2.2.6.1 Horno colmena.

Son hornos cerrados, intermitentes en donde se puede regular mejor el tiro, el cual puede ser natural o forzado. La alimentación del material seco se realiza por una puerta lateral. La alimentación del carbón puede realizarse por una parillas (3-4) colocadas en la pared del horno mediante stoker. La llama se eleva contra el muro y es atraído por el tiro hacia la base en donde se recogen los humos de combustión para posteriormente evacuarlos por la chimenea. Consume un promedio de 15 a 30 toneladas por hornada, dependiendo de la capacidad del horno (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003)

Este horno tiene la particularidad de funcionar con tiro natural, es decir el aire en exceso es impulsado de forma natural (no por un ventilador), por diferencia de alturas, entre el lecho del horno y la chimenea. La alimentación se realiza por bocas laterales (útiles). Sus paredes son de aproximadamente $1\text{m} \pm 0,1\text{m}$ de espesor, además en su diseño se emplean puertas laterales para horne (endague) y deshorne (descarga).



Figura 4. Horno colmena de llama invertida.

El principio de funcionamiento del horno se basa en la diferencia de presiones producido por la diferencia de altura entre horno y chimenea; al generarse la combustión la llama golpea con la parte superior semiesférica del horno e invierte su sentido (de ahí su nombre de llama invertida), generando una turbulencia en forma de ciclón que expulsa los gases producidos en la combustión por la chimenea. Cabe anotar además que, en este horno los residuos de quemado y el carbón no tienen contacto con la materia prima dado que, en las cámaras de combustión, los útiles los recogen y acumulan. (Riojas Castillo & Rodríguez Montaña, 2004)

2.2.6.2 Horno de fuego dormido.

Es el horno más contaminante, es un horno artesanal construido en forma circular, generando una bóveda circular. Posee una puerta lateral por donde se carga el material. En estos hornos se coloca una capa de carbón y posteriormente una de ladrillos, hasta que se alcanza el tope del horno. La cocción durante treinta (30) días y la producción de ladrillos es de quince (15) a veinte mil

(20.000) ladrillos hornada. El consumo de carbón es de quince (15) a veinte (20) toneladas por hornada. Son hornos intermitentes, caracterizados por su baja producción y alta contaminación. La quema no es homogénea, el material producido es de baja calidad, es decir algunos ladrillos quedan requemados, mientras otros pueden quedar crudos (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003)

2.2.7.3 Horno árabe.

En orden jerárquico en cuanto a contaminación, este horno ocupa el segundo lugar después del fuego dormido. Es un horno de forma rectangular, el cual posee 8 hornillas en las zonas laterales e inferiores para el suministro de carbón. No tiene techo ni chimenea. Son hornos de rápida cocción (7 días aproximadamente), y alta contaminación. Consume entre 8 y 10 toneladas de carbón por hornada (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003)

2.2.7.3 Horno Hoffman.

Consisten en dos galerías paralelas, formado por compartimientos contiguos, cuyos extremos se unen por un pasa fuegos. Son hornos continuos de alta producción, donde no se pueden producir materiales vitrificados.

En estos hornos el fuego se mueve en dirección opuesta a las manecillas del reloj, este sistema permite obtener una alta eficiencia térmica y de producción, ya que el calor obtenido en la cámara de combustión se utiliza en el precalentamiento de las cámaras precedentes. En una semana se termina el ciclo de quema.

Cada galería está formada por varias cámaras, cada una de ellas con su respectiva puerta, para el cargue y descargue del horno y un canal de salida que va al colector principal que conduce a la chimenea cada cámara comunica con el colector.

La alimentación del combustible se realiza en la parte superior del horno, mediante alimentación manual o con la ayuda de Carbojet (alimentación neumática), la cual debe realizarse en forma dispersa, evitando chorros que provoquen combustión incompleta. Consume cerca de 25 a 30 toneladas de carbón por vuelta del horno o por ciclo de quema (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003)

2.2.7.4 Hornos túnel.

Los hornos túnel y de rodillos se consideran como hornos tecnificados porque tienen alta capacidad de producción y niveles de contaminación menores, con relación a los demás tipos de hornos, además presentan mejor eficiencia térmica porque realizan recuperación de calor. En este sentido, aunque el porcentaje de participación de estos hornos es bajo, se destaca que es utilizado por la industria ladrillera grande, el grado de tecnificación en la inyección del combustible y en el control de temperaturas es alto (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003)

2.2.7 Productos.

Se distinguen tres tipos básicos de unidades de mampostería de arcilla cocida, según la disposición de sus perforaciones y del volumen que éstas ocupen: perforación vertical (ladrillo), perforación horizontal (bloques) y macizos (ladrillo) y pueden ser de uso interior y de uso exterior (o de fachada), estructural y no estructural. Unidades de mampostería estructural son aquellas que se diseñan y fabrican para ser utilizada en construcciones de tipo estructural. Además de su propio peso, dichas unidades soportan otras cargas verticales y horizontales (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003).

El ladrillo es considerado como una unidad de mampostería, que puede tener funciones estructurales o no, y es utilizado en las edificaciones para levantamientos de muros interiores y exteriores (Arango, 2001).

La calidad de la arcilla y la temperatura a la cual se cuecen los ladrillos debería estar en la conformidad con el lugar en que se van a emplear. Por ejemplo, el ladrillo para la construcción no debiera conocerse hasta la vitrificación, puesto que el mortero no puede unirse en él. La vitrificación depende no solo del grado de calor sino también de la composición de la arcilla. Diversas clases de arcilla existentes en el mercado pueden vitrificarse a muy baja temperatura (925 a 980°C) debido al material fundente contenido en la arcilla, que generalmente es óxido de hierro y álcalis. Se hace un ladrillo pesado que no soporta excesivo calor. El ladrillo cocido a menos de 1100°C y con una resistencia debajo de 14N/mm² no debiera admitirse en las construcciones modernas (Guastavino, 2006).

Con frecuencia puede verse en algunos edificios, después de un incendio, que los ladrillos ofrecen señales de fusión y que sus dimensiones se han reducido hasta el extremo de que se producen grietas en los muros. Tales ladrillos no debieran aceptarse hoy para edificios a prueba de incendios. Desde luego son resistentes, pero, por las razones expresadas, no pueden resistir un fuego de más de 925°C. Poco tiempo atrás la condición de ladrillo duro y resistente era suficiente, más hoy esa condición no basta. Se hace necesario que además de la dureza tenga resistencia al fuego; condición importantísima esta última si se tiene en cuenta el papel de las fábricas de ladrillo en las construcciones actuales (Guastavino, 2006).



Figura 5. Productos que produce la empresa Cerámicas América S.A.

2.2.8 Descripción del proceso productivo de cerámicas América S.A.

2.2.8.1 Extracción de la materia prima.

El método de explotación minero implementado en todas las industrias es a cielo abierto. En la mayoría de las industrias grandes y medianas, el proceso de explotación se realiza mediante la conformación de terrazas, donde la transferencia de material se hace en forma de bancos interconectados por bermas amplias, que facilitan el acceso de la maquinaria y el movimiento de la materia prima. La planeación minera permite que los frentes beneficiados puedan ser recuperados en un futuro con material estéril, además del aprovechamiento de la capa vegetal removida en los programas de reforestación que se decidan implementar. El método artesanal Guarda los mismos principios de manejo de material de la minería de ladera y es implementada en la totalidad de los chircales. La extracción se realiza con herramientas manuales en los sectores adyacentes a los patios de secado, removiendo el material ubicado en la base de los taludes y propiciando el derrumbe. El transporte del material extraído se realiza con la ayuda de cargadores

o camiones, se dispone en sitios fuera de la mina en patios de acopio a la intemperie o bajo techo, donde se inicia el proceso de maduración de la arcilla. Los equipos utilizados en el proceso de extracción son A) Retroexcavadoras 21%, B) Bulldozer 27%, C) Cargadores 22%, D) Volquetas 27% y Otros (2%) (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003).

2.2.8.2 Preparación de la materia prima.

La preparación es el proceso por el cual el material arcilloso se reduce de tamaño y humecta para posteriormente ser sometido a moldeo a presión. La preparación del material arcilloso puede ser por vía húmeda o por vía seca. En el patio de almacenamiento los materiales arcillosos permanecen macerándose. Este procedimiento consiste en la humectación permanente y remoción periódica de dichos materiales (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003).

La maceración tiene por objeto ablandar y estabilizar química y físicamente los materiales arcillosos. La preparación por vía húmeda es la más empleada en la industria ladrillera, en donde la arcilla se utiliza como naturalmente se obtienen del yacimiento para posteriormente reducirla de tamaño y mezclarla con agua hasta formar una pasta dúctil y homogénea en el proceso de preparación cabe destacar la importancia del amasado (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003).



Figura 6. Tolva de almacenamiento de arcilla procesada.

En el proceso de preparación de materia prima se emplean una mezcladora de ejes paralelos, los cuales son alimentados por una banda transportadora que proviene de un silo o tolva (ver la figura 6). donde reposa el material que sale de la zona de refinación por medio del molino de martillos. Retomando el proceso de mezcla y humidificación de la materia prima, el cual lo desarrolla un operario calificado para llevar a punto la humedad la materia prima ver (figura 10)



Figura 7. Zona de humidificación de la arcilla.

En esta zona el operario humedece la pasta de manera convencional por medio de una manguera a lo largo de la bandeja de los ejes mezcladores que giran a 160 rpm y son accionados mediante un motor eléctrico de 150 hp a 12 amperios. Así se garantiza que la pasta tenga las condiciones de humedad necesarias.



Figura 8. Molino de martillos.

La empresa Cerámicas América S.A cuenta con un molino de martillos, el cual procesa de 10 a 12 toneladas de material arcilloso por hora, este molino está constituido por 8 martillos como se aprecia en la figura 8 cuales tienen un periodo de trabajo constante de aproximadamente 8 días hasta que se empiezan a desgastar y son llevados al área de mantenimiento para su respectiva reconstrucción mediante un colchón por soldadura eléctrica WES-ARCO (7018) y finalmente se aplica una capa de UPT-718 como se muestra en la (figura 11).

2.2.8.3 Moldeo.

El moldeo generalmente se realiza por extrusión, proceso que consiste en moldear en forma plástica a presión (con o sin vacío) a través de una boquilla determinada. El equipo utilizado presenta variaciones en la boquilla según el producto terminado. Los ladrillos rústicos son moldeados en una extrusora sin vacío (galletera), la cual recibe el material proveniente de un desintegrador de rodillos acanalado. Los tubos de gres se fabrican utilizando extrusores verticales, en donde se varía las boquillas para la obtención de tubos de diferente diámetro (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003).

En la figura 11 se muestra el proceso de extrusión de la pasta que proviene de la zona de mezcla. El motor con el cual opera esta máquina es de 150 amperios y gira a 1200 rpm es un motor de fuerza, también trabaja mediante una bomba de vacío de 10 hp (figura 9). En esta zona se preforma la pasta y se da forma a los diversos productos que genera la empresa graduando la cortadora para las dimensiones (figura 11). o cambiando las boquillas de la extrusora.



Figura 9. motor eléctrico de la zona de extrusión.



Figura 10. Bomba de vacío de la zona de extrusión.



Figura 11. Cortadora de bloques de la zona de extrusión.

2.2.8.4 Secado.

El secado puede ser natural o artificial. Las condiciones ambientales en el lugar de instalación de la planta y el volumen de producción esperado son los factores que inciden en la elección de uno u otro. Puede decirse que la producción de una industria ladrillera depende del secado, ya que la capacidad de extracción producción y horno generalmente es alta. En el secado natural se dejan los productos cerámicos en grandes áreas, bajo cubierta o al aire libre, sistema utilizado por las industrias medianas, pequeñas y chircales (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003).

Los productos de mampostería estructural son secados por acción del viento, por lo tanto, el tiempo de secado depende de condiciones atmosféricas como velocidad del aire, temperatura y humedad relativa. Este tipo de secado impide un alto ritmo de producción para plantas altamente

tecnificadas (hornos continuos). Por esta razón, en las industrias grandes se utiliza sistemas de secado artificial.

En el secado natural prácticamente no hay gastos de operación, pero se requiere extensas áreas debidamente adecuadas (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003).



Figura 12. Zona de secado natural.

El secado artificial requiere de someter el ladrillo a la circulación del aire caliente, se establece entonces un flujo de calor hasta el interior de este, obligando a salir la humedad del sólido. El aire seco al estar en contacto con el ladrillo húmedo transfiere calor a la superficie, evaporando su humedad libre. Si se mantienen constantes la temperatura y la velocidad del aire, el agua se elimina a velocidad constante, hasta alcanzar el sólido su humedad crítica, momento en el cual aparecen las primeras manchas secas. Si el secado es brusco un anormal gradiente de eliminación de humedad, el cual va acompañado de agrietamiento, deformaciones y contracción del material (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003).



Figura 13. zona de secado artificial.

Los secaderos artificiales pueden catalogarse en intermitentes o continuos. En los primeros el material pre-secado en condiciones ambientales es introducido en una de las cámaras contiguas del secadero las cuales deben tener controladores de humedad y temperatura. Las cámaras son de diferentes dimensiones y en ellas se puede utilizar los gases de chimenea de los hornos o los gases de combustión de un horno contiguo. El secadero continuo o tipo túnel consiste en una galería de 60 a 80 metros, en la que por una de sus extremidades penetra el aire caliente en contracorriente al desplazamiento del material, el cual se transporta a través del túnel en vagonetes o estanterías. La temperatura varía el extremo frío al caliente de 30 a 120°C la desecación dura de 20 a 24 horas. Generalmente este secadero es utilizado cuando se cuenta con un horno túnel en el proceso.

El sistema de secado utilizado en la mayoría de las industrias medianas y pequeñas es de tipo natural, en donde el material en verde es ubicado en áreas de secado bajo cubierta. En las industrias grandes se encontraron secaderos artificiales tipo túnel, cámaras, secaderos verticales y secador tipo Espray Driver (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003).

2.2.8.5 Cocción.

Los materiales de construcción que son sometidos a cocción pasan durante este proceso por complejas reacciones regidas por su composición química y mineralógica. El agua absorbida se pierde 120°C entre 200 y 300°C el agua combinada, la arcilla se descompone entre 600 y 700°C y finalmente entre 800 y 1000°C ocurre la cristalización de nuevos compuestos y se realiza propiamente la cochura.

Las fases del proceso total son tres: caldeo, cocción y enfriamiento. En la primera se elimina paulatinamente el agua higroscópica, el agua es removida por aire continuamente renovado y aumentado constantemente la temperatura, el caldeo se considera terminando cuando la masa alcanza los 100°C. En la cocción se completan las reacciones químicas, los ladrillos sufren una ligera contracción y adquieren una estructura característica que da fuerza al producto terminado. La temperatura de cocción oscila entre 1000 y 1100° C (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003).



Figura 14. Horno colmena, proceso de carga.

En el proceso de cocción, se procede a cargar el horno como se aprecia en la (figura 14).se carga inicialmente con 10000 unidades de tabelones y 4000 bloques H10, H9,H15,etc dependiendo de la producción requerida los operarios acomodan los bloques de tal manera que todo el espacio dentro del horno sea aprovechado, (ver figura 15), y de tal manera que el flujo de calor en la etapa de cocción fluya sin ninguna obstrucción.



Figura 15. Proceso de carga, al interior del horno colmena.

En la etapa de enfriamiento la temperatura ha de descender desde la de cocción hasta la normal la cual debe realizarse de una manera paulatina en la zona de 500 a 600°C, ya que un descenso brusco en la temperatura puede provocar contracciones o fisuras en los ladrillos. El enfriamiento de las piezas está dado por el tamaño de estas, cuanto mayor es este mayor será la lentitud de elevación de la temperatura y el posterior enfriamiento del material. Los productos cuyo enfriamiento se ha realizado lentamente, son tenaces y muy resistentes a las acciones mecánicas y por el contrario un enfriamiento rápido los hace frágiles, hasta el punto de suceder rupturas espontáneas sin necesidad de agentes externos que provoquen ello.

Después de la cocción los materiales toman una coloración variable dependiendo de los componentes de la arcilla, en especial de los óxidos férricos del tipo de atmósfera utilizada. Altos contenidos de óxido férricos favorecen la obtención de productos rojizos de alta demanda en el mercado nacional. El proceso específico de cocción se lleva a cabo en tres etapas (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003).

La primera es prender el horno alimentado las boquillas del horno con carbón mineral hasta alcanzar los 100°C aproximadamente con el fin de eliminar la humedad que todavía tiene el producto y evitar agrietamiento. A esta etapa se le denomina caldeo, para luego pasar a la segunda etapa de cocción en la cual se le suministra el carbón granulado y en una forma constante mediante mangueras que están conectadas a una tolva pequeña ubicada en la parte superior del horno, para alcanzar de esta forma los 1150°C. Existe otro método de suministrar el carbón por medio de stoker, los cuales son ubicados en la parte inferior del horno, el cual cumple la función de expulsar el carbón granulado al horno a altas velocidades, (Cuando se desee sacar productos vitrificados se le agrega sal horas antes a ser apagado del horno).

La tercera etapa se lleva a cabo cuando han transcurrido las 72 horas de cocción, en donde se suspende el suministro de carbón con el fin de que el horno se apague y empiece su proceso de enfriamiento el cual se demora 72 horas. Para agilizar esta etapa los hornos cuentan con unas boquillas en la parte superior las cuales son abiertas para que sean expulsados los gases y tengan una mejor ventilación (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003).

Para el caso de las industrias de mayor tamaño el proceso de cocción es llevado a cabo utilizando un horno continuo que posee 20 cámaras de las cuales se encuentran seis en proceso de cocción de los productos, seis en proceso de enfriamiento para sacar el producto terminado, tres en proceso de desollamiento y cinco en proceso de llenado. Las dimensiones de cada cámara son de 6 a 4 metros de largo por 27 metros de alto y 3.43 metros de ancho, para una capacidad de 2700 bloques (Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería, 2003).

2.2.8.6 Zona de almacenamiento del producto terminado y productos de la empresa cerámicas S.A

Los productos terminados son almacenados al aire libre (ver figura 16) en un espacio bastante amplio y posteriormente embalados para ser despachados hacia sus destinos de compra. La empresa Cerámicas América S.A tiene una gran variedad de productos para ofrecer al mercado, nacional, regional e internacional, con el fin de ser más competitivos cada día estos productos se pueden apreciar en la figura 5.



Figura 16. Zona de almacenamiento de los productos terminados.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Generalidades.

El compromiso teórico del investigador con el trabajo que realiza no solo influye en la elección de un tema y del planteamiento del problema, sino también afecta la selección que hace de los procedimientos de investigación, de las teorías subyacentes que explican la temática de interés, y de la forma específica en la que analiza y difunde sus resultados. En otras palabras, el investigador es una variable más en el diseño de investigación, y sus antecedentes socioculturales particulares afectan su adhesión al orden normativo de la ciencia, o a la interpretación que hace de ésta. (Sjoberg & Nett, 1980) Marco conceptual en una investigación se entiende como un sistema de conceptos básicos, que constituye los fundamentos de los procesos epistemológicos que buscan plantear los problemas específicos del estudio, según la problemática planteada, en efecto a largo plazo, resolverlos mediante del desarrollo de las bases metodológicas, que generalmente lo complementan, proporcionando los métodos y procedimientos pertinentes.

Según Tafur el marco conceptual es el conjunto de conceptos que expone un investigador cuando hace el sustento teórico de su problema y tema de investigación. La expresión marco conceptual, tiene connotación metafórica, traída del empirismo humano porque los retratos se inscriben en un marco, así también el problema y el tema de investigación se inscribe, están incluidos en el contexto de un conjunto de conceptos induciendo a enfocarlos y apreciarlos (Tafur, 2008).

En ese sentido, es un intento por caracterizar todos aquellos elementos que intervienen en el proceso de la investigación. A través de la revisión de publicaciones de varios autores y varias teorías se busca poder encontrar aquellas definiciones, conceptos y líneas para enmarcar la investigación e interpretar los resultados y las conclusiones que se alcanzan.

Desde la perspectiva de Creswell y Martens el marco conceptual es la estructura de diseñar el constructo conforme a los procedimientos establecidos por el protocolo de la universidad, centro de investigaciones o el propio investigador. El marco conceptual establece relaciones epistemológicas, metodológicas y ontológicas sobre determinada disciplina del conocimiento (Creswell & Martens, 2014).

Definir marco conceptual requiere la capacidad de identificación, descripción, distinción y evaluación a fin de establecer la categoría requerida en la investigación.

En consecuencia, el marco conceptual complementa el marco teórico puesto que es la relación de conceptos desarrollados por una disciplina específica. Está constituido por las definiciones de algunos conceptos que permiten ubicar su investigación en un campo específico, sin embargo, no consiste en solamente una lista de definiciones o glosario, se supone que éstas hacen parte de una

trama teórica, es decir, de un marco que las una, que establezca relaciones. El marco conceptual permitirá identificar las palabras clave de la investigación (Creswell & Martens, 2014).

2.3.2 Definición de conceptos.

2.3.2.1 Evaluar.

El análisis y la evaluación de la información y el conocimiento resultante de la actividad científica es un elemento imprescindible para todos los programas de investigación pública, tecnología y desarrollo que se implementan en una sociedad; y es allí donde la Ciencia de la Información brinda una ayuda inestimable, al desarrollar técnicas e instrumentos para medir la producción de conocimiento y su transformación en bienes (Ricardo Arencibia & Félix de Moya, 2008).

La evaluación se puede entender de diversas maneras, dependiendo de las necesidades, propósitos u objetivos de quien evalúa (Mora Vargas, 2004).

Algunas definiciones presentan una orientación meramente cuantitativa de control y medición del producto, se pueden concebir como “una fase de control que tiene como objeto no sólo la revisión de lo realizado sino también el análisis sobre las causas y razones para determinados resultados, y la elaboración de un nuevo plan en la medida que proporciona antecedentes para el

diagnóstico”. A la vez, la evaluación está orientada por una teoría institucional (leyes, reglamentos, decretos y circulares) y por la cultura evaluativa existente, entendida como la forma que se han realizado los procesos evaluativos. Esta “se construye a través del conjunto de valores internalizados por docentes, alumnos, directores, supervisores padres y representantes de entes empleadores, acerca de la forma de concebir y practicar la evaluación en un determinado proceso educativo.” (Duque, 1993).

El Joint Committee on Standards for Educational Evaluation señala que "la evaluación es el enjuiciamiento sistemático de la validez o mérito de un objeto" (Stufflebeam & Shinkfield, 1995). De tal manera, que en un estudio es importante tanto lo bueno como lo malo de la situación evaluada, de lo contrario no se trata de una evaluación. En consecuencia, Stufflebeam y Shinkfield, consideran que la evaluación es un proceso complejo pero inevitable. Es una fuerza positiva cuando "sirve al progreso y se utiliza para identificar los puntos débiles y fuertes, y para tender hacia una mejora" (Stufflebeam & Shinkfield, 1995).

2.3.2.2 Eficiencia.

La eficiencia según Pérez Álvarez y García Montes, se refiere a la relación coste/beneficio de la propia intervención. El análisis de la eficiencia se realiza a tres niveles: el coste directo del tratamiento para el paciente o el sistema proveedor del servicio, el coste directo para la comunidad y el coste indirecto para la sociedad (Pérez Álvarez & García Montes, 2003).

El Diccionario de la Real Academia Española indica que la eficiencia es "virtud y facultad para lograr un efecto determinado". Esta fuente permitiría pensar que la eficacia y la eficiencia sean sinónimas. María Moliner presenta una definición con un matiz ligeramente diferente que parece sugerir que la eficiencia califica la manera en que los objetivos sean realizados; señala que la eficiencia "se aplica a lo que realiza cumplidamente la función a que está destinado" (Moliner, 1998).

Se propone que un programa es eficiente si cumple sus objetivos al menor costo posible. Ernesto Cohen y Rolando Franco, definen la eficiencia como "la relación entre costos y productos obtenidos" (Cohen & Rolando, 1994).

Marlaine Lockheed y Eric Hanushek señalan que “un sistema eficiente obtiene más productos con un determinado conjunto de recursos, insumos o logra niveles comparables de productos con menos insumos, manteniendo a lo demás igual” (Lockheed & Hanushek, 1998).

Conforme a estas definiciones, nosotros entendemos la eficiencia como el grado en que se cumplen los objetivos de una iniciativa al menor costo posible. El no cumplir cabalmente los objetivos y/o el desperdicio de recursos o insumos hacen que la iniciativa resulta ineficiente (o menos eficiente) (Mokate, 2000).

La referencia a “costos” en la definición de eficiencia corresponde a un entendimiento amplio del concepto. No todo costo necesariamente tiene que asociarse con un desembolso de dinero. No todo costo corresponde directamente a una expresión en unidades monetarias. Un costo representa el desgaste o el sacrificio de un recurso, tangible o intangible. Por tanto, podría referirse al uso (sacrificio) de tiempo, al desgaste o deterioro de un recurso ambiental (aunque éste no sea transable) o al deterioro o sacrificio de otro “bien” no tangible como el capital social, la solidaridad ciudadana o la confianza, entre otros (Mokate, 2000).

2.3.2.3 Eficiencia térmica.

Conociendo el concepto de eficiencia, se puede abordar el concepto de Eficiencia Térmica con propiedad.

de energía térmica (como calor) en energía mecánica (como trabajo) (Rolle, pág. 231) Es el cociente del trabajo obtenido y el calor que se le suministra, $N = W/Q$. Parte del calor producido en la combustión Eficiencia es un término utilizado con frecuencia para describir la forma en que funciona una máquina térmica, u otro dispositivo cíclico. Podemos definir la eficiencia como salida dividida en entrada. Para una máquina térmica que convierte calor en trabajo, la entrada se puede

identificar con la entrada de calor, o el calor agregado. La salida será el trabajo neto. Se usa el adjetivo “térmica” para indicar que la eficiencia de una máquina térmica es una medida de la conversión se disipa en la etapa de enfriamiento. También se pierde algo en los gases de escape porque todavía están muy calientes cuando salen del horno. Éstas son pérdidas térmicas (de calor) que reducen la eficiencia térmica del horno.

2.3.2.4 Evaluación de la eficiencia térmica.

Para evaluar la eficiencia térmica de un generador de vapor o una caldera es necesario tomar en cuenta, además de la buena combustión, una serie de factores que estudiados metodológicamente nos indiquen en donde debemos poner énfasis si queremos disminuir las pérdidas térmicas, a esta metodología se le conoce como balance o eficiencia térmicos, dependiendo de si son generadores de vapor o calderas, los dispositivos a presión que se analizarán. A partir del balance de energía de una caldera paquete, es posible calcular su eficiencia térmica por dos métodos, directo e indirecto. El método directo corresponde a entradas y salidas de calor, para determinar la eficiencia térmica, por este método es necesario medir parámetros como lo son, cantidad de vapor generados, cantidad de combustible consumido, temperatura del agua de alimentación, entre otros. El método indirecto corresponde a pérdidas de calor, para determinar la eficiencia térmica a partir de este método, los parámetros que deben ser medidos son, la temperatura, la concentración del oxígeno y de monóxido de carbono de los gases de combustión a la salida de la caldera (Soto Cruz, 1996).

2.3.2.5 Horno.

Los hornos son productos tecnológicos en los cuales se realizan transformaciones de materias primas empleando energía térmica para obtener un producto final, en el caso analizado se utiliza la energía generada por la combustión del carbón; las transformaciones que sufre la arcilla se deben

a la transferencia de calor por convección forzada y radiación, utilizando para ello gases calientes producto de la combustión.

Una de las últimas y definitivas etapas del proceso es la cocción, llevada a cabo en los hornos. Para su ejecución, el horno pasa por tres etapas, precalentamiento, quema y enfriamiento; ellas deben controlarse de forma estricta, con el objeto de obtener productos con una mínima proporción defectuosa que se convierte en chamote (residuo sólido del proceso productivo) y reducir el impacto ambiental, todo con el máximo rendimiento posible, el mínimo consumo de combustible. De esta forma el proceso de cocción se considera crítico, ya que en este punto puede perderse el material en proceso; además es allí donde se genera la mayor cantidad de residuos y emisiones atmosféricas (Riojas Castillo & Rodríguez Montaña, 2004).

El nivel tecnológico de las ladrilleras se define básicamente por el tipo de horno empleado, en este estudio la ladrillera emplea un horno de tipo colmena

2.3.2.6 Horno colmena.

“Son hornos redondos de llama invertida, cerrados, intermitentes en donde se puede regular mejor el tiro, el cual puede ser natural o forzado. La alimentación del material seco se realiza por una puerta lateral. El suministro del combustible puede realizarse manualmente mediante parrillas colocadas en la pared del horno, o automáticamente mediante stoker. Están contruidos en forma de cámaras circulares con paredes y techo en bóveda de ladrillo; poseen hogares laterales distribuidos uniformemente donde se quema el combustible” Los gases de combustión ascienden entre la pared del horno y la pared frontal del hogar, llegando hasta la bóveda (parte superior del horno) y luego son obligados a salir por la parte inferior del horno atravesando la carga de arriba hacia abajo (debido a esto son llamados hornos de Llama Invertida) abandonando el horno por el

conducto de absorción de gases que se encuentra en el centro del suelo del horno, que conduce los gases hacia la chimenea (ANFALIT, 2002).

2.3.2.6 Ladrillera.

La industria ladrillera en Colombia, es un eslabón fundamental dentro del sector de la construcción debido a que los ladrillos son elementos básicos utilizados en cualquier tipo de obra civil, estos productos tienen diferentes usos y precios dependiendo de sus características de composición y sus acabados, mayormente utilizados en la construcción de viviendas (Pulido Velasco & Quintero López, 2015)

La innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías, por parte de las empresas ladrilleras, en su gran mayoría, es el resultado de las exigencias de la sociedad para que se construya un hábitat sostenible e igualmente, se implementen las buenas prácticas (Ocampo, 2012).

2.3.2.6 Ladrillo de arcilla.

El ladrillo es considerado como una unidad de mampostería, que puede tener funciones estructurales o no, y es utilizado en las edificaciones para levantamientos de muros interiores y exteriores. Se llama mampostería, al sistema tradicional de construcción que consiste en erigir muros y paramentos para diversos fines, mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen (denominados mampuestos), que pueden ser por ejemplo ladrillos cerámicos, ladrillos sílico calcáreos, ladrillos de concreto, bloques prefabricados de concreto, piedras talladas en formas regulares o no, entre otros (Arango, 2001).

Los ladrillos toletes macizos de arcilla cocidos se utilizan en la construcción de obras civiles principalmente en edificios y viviendas, por los bajos costos del material, su propiedad de

aislamiento térmico y su disponibilidad geográfica (Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2010).

El empleo del ladrillo es antiquísimo. Si está con buena arcilla y es meramente cocido constituye la mejor clase de fábrica. El ladrillo común que se usa para construir se compone generalmente de arcilla plástica con algo de arena o silicato simple. Para los ladrillos de suelos y techos se debiera usar con preferencia la arcilla que más se acerca al puro silicato de alúmina, esto es, la arcilla refractaria. De esta manera serán más resistentes al fuego. Esta clase de arcilla es la que mejor se adapta a la construcción moderna (Guastavino, 2006).

2.3.2.7 Inyección de aire.

Se crea una sobrepresión en el ambiente como resultado del suministro de aire tomado del exterior por el ventilador, luego filtrado y conducido a través de conductos al recinto. El aire viciado es obligado a salir por ductos hacia el exterior (Camacho García, 2004).

2.3.2.8 Carbón.

El término carbón se aplica a todos los materiales naturales y sintéticos compuestos fundamentalmente de átomos de carbono con una estructura de grafito o, al menos, con una organización bidimensional de láminas de átomos de carbono (Rodríguez Reinoso, 1989, págs. 305- 312).

El carbón es una mezcla de carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, agua y cenizas, todo lo cual existía inicialmente en forma de materia vegetal y quedó enterrado en el lecho de pantanos y lagos. Debido a la acción combinada del tiempo, presión y temperatura, los vegetales se transformaron en carbón. En la naturaleza se encuentran muestras de todas las etapas del proceso, desde la estructura brillante de la antracita hasta el blando y deleznable lignito. El carbón

constituye uno de los productos más valiosos de la humanidad; como combustible y como fuente de productos químicos su valor es incalculable (Severns, Degler, & Miles, 2007).

2.3.2.9 Suministro manual de carbón.

La alimentación del horno de tipo colmena se realiza de forma manual o mecánica, en este caso el procedimiento es manual, por los útiles se alimenta carbón de forma tradicional (Riojas Castillo & Rodríguez Montaña, 2004).

2.4 Fundamentos legales

2.4.1 Norma Técnica Colombiana NTC 6033.

La norma NTC 6033 Pretende ser un instrumento de competitividad para el sector ladrillero en el cual se especifica los requisitos ambientales para ladrillos y bloques de arcilla y demás productos afines de la industria ladrillera.

La producción de ladrillos, bloques de arcilla y demás productos de cerámica roja del sector ladrillero puede causar impactos severos al medio ambiente en las diferentes etapas de producción. Los mayores impactos se relacionan con la extracción de materiales y el proceso de fabricación.

2.4.1.1 Requisitos para materias primas, componentes e insumos.

La organización debe establecer un procedimiento para identificar permanentemente los impactos ambientales negativos significativos de las materias primas e insumos y establecer acciones que permitan prevenir, mitigar o controlar el impacto negativo asociado.

Dentro de las posibles acciones a tomar se pueden considerar las siguientes:

- Reemplazo de materias primas o insumos por otras menos contaminantes que generan menor impacto ambiental.

- Definición de criterios ambientales de compra que exija a sus proveedores el uso de las mejores prácticas, las cuales puedan ser verificadas por la organización.
- Tomar las medidas de mitigación que disminuyan los impactos negativos significativos de las materias primas o insumos contaminantes.

2.4.1.2 Fabricación.

Almacenamiento de materias primas e insumos.

La organización encargada de la fabricación debe implementar procedimientos para el almacenamiento y manipulación apropiada de materias primas e insumos, incluidos combustibles.

Estos procedimientos deben:

- Hay que asegurar que el almacenamiento de sustancias peligrosas se localice y maneje para prevenir la contaminación del agua superficial o el suelo (incluido asegurar que líquidos potencialmente peligrosos cuenten con diques de contención).
- Incluir un plan de respuesta ante derrames que detalle los procedimientos para identificar, contener y limpiar cualquier derrame de sustancias peligrosas.
- Establecer un plan de control de emisiones de material particulado en las zonas de almacenamiento de materias primas e insumos.

Se debe mantener un registro mensual de consumo de energías térmica y eléctrica en el proceso de fabricación por unidad de producción (sin considerar los consumos de las áreas administrativas). A partir de ellos debe diseñar, establecer e implementar un plan para el uso eficiente de energía en el cual debe definir claramente metas, los periodos de tiempo para alcanzar estas metas, los responsables y las actividades para su logro.

Los consumos de energía eléctrica se deben registrar en kw-h / unidad de producción y los consumos de energía térmica en Mj / unidad de producción.

Se debe mantener un registro mensual del consumo total de agua en el proceso de fabricación por unidad de producción (se deben considerar todas las actividades desarrolladas por la organización incluyendo consumo de las áreas administrativas). Y a partir de ello se debe diseñar, establecer e implementar un plan para el ahorro y uso eficiente de agua en el cual debe definir claramente metas de reducción, los periodos de tiempo para alcanzar estas metas, los responsables y las actividades para su logro.

Los consumos de agua del proceso de fabricación y de las áreas administrativas se deben registrar por separado.

Se debe llevar a cabo un registro de la cantidad mensual y tipo de residuos que se generan por unidad de producción (se deben considerar todas las actividades desarrolladas por la organización para la producción, comercialización y entrega del producto). A partir de estas mediciones se debe diseñar, establecer e implementar un plan de gestión integral de dichos residuos, el cual considere al menos: minimización, separación en la fuente, transporte interno, almacenamiento, presentación diferenciada, aprovechamiento, y disposición de los residuos. Se recomienda consultar la GTC 86 sobre gestión integral de residuos. Se debe establecer una meta de minimización de cada tipo de residuo identificado, los periodos de tiempo para alcanzar estas metas, los responsables y las actividades para su logro.

Para los residuos peligrosos que se generan durante las etapas de extracción de materiales, producción, mantenimiento de equipos y comercialización de los ladrillos o bloques de arcilla, la organización debe disponer de estos a través de empresas autorizadas por la autoridad ambiental

competente para realizar la gestión de residuos peligrosos de acuerdo con la etapa de esta que desarrolle.

La organización debe garantizar que los residuos generados de bloques y ladrillos de arcilla generados en cualquiera de las etapas de fabricación sean reciclados o aprovechados por la misma organización o a través de terceros.

Se deben identificar y caracterizar las fuentes de contaminación atmosférica, auditiva y visual en el proceso de fabricación (sin considerar comercialización y entrega del producto). A partir de este se debe establecer, implementar y mantener un programa para controlar la contaminación atmosférica, auditiva y visual.

La organización debe identificar y caracterizar los vertimientos del proceso de fabricación (sin considerar las actividades de comercialización y entrega del producto). Y a partir de ello se debe diseñar, establecer e implementar un plan para su control en el cual se debe establecer claramente metas que permitan mejorar la calidad ambiental del vertimiento, los periodos de tiempo para alcanzar estas metas, los responsables y las actividades para su logro. (Norma técnica colombiana NTC 6033, 2013).

2.4.2 Resolución número 6982 (Diciembre 27 DE 2011).

“Por la cual se dictan normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire”.

CAPITULO II: Límites máximos permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas de combustión externa.

ARTÍCULO 4. Estándares máximos de emisión admisibles para equipos de combustión externa existentes. En la tabla 3, se establecen los estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa existentes a condiciones de referencia (25 o C y 760 mmHg), de acuerdo con el tipo de combustible.

Tabla 3. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia.

Combustible	Sólidos			Combustibles líquidos (Diesel, Fuel Oil No 2 o ACPM, Fuel Oil No 6, crudo o bunker)			Combustibles Gaseosos		
	(carbón carbón antracita, leñas, turbas, vegetales)	mineral, vegetal, hullas, fibras							
Contaminante	2011	2015	2020	2011	2015	2020	2011	2015	2020
Material Particulado (MP) (mg/m^3)	100	75	50	100	75	50	100*	75*	50*
Óxidos de Azufre SO_2 (mg/m^3)	400	350	300	400	350	300	NO APLICA		
Óxidos de Nitrógeno NO_2 (mg/m^3)	250	220	200	250	220	200	300	250	200

Fuente: (Resolución numero 6982, 2011)

*Cuando la autoridad ambiental lo requiera, podrá solicitar a las industrias que posean fuentes fijas de combustión externa que operen con gas natural la medición de los parámetros de material particulado

Parágrafo primero. Para los muestreos en chimenea el valor de referencia para el oxígeno cuando se utiliza carbón en fuentes de combustión externa es del 6 % en volumen, y del 7 % en volumen para uso de turba, madera y residuos de madera.

Parágrafo segundo. Para los muestreos en chimenea el valor de referencia para el oxígeno, cuando se utiliza combustible líquido y gaseoso en fuentes de combustión externa, es del 3 % en volumen.

Parágrafo tercero. Toda fuente fija que utilice combustibles sólidos y/o crudos pesados, debe contar con equipos de control instalados y funcionando

Parágrafo cuarto. Las instalaciones que operen con dos o más combustibles, realizarán la medición directa con cada uno de ellos, a menos que demuestre que durante el último año el equipo ha operado con uno de los combustibles más del 95% de las horas, sustentado mediante registros conforme a lo establecido en el numeral 1.1.2 del Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica generada por Fuentes Fijas última versión, adoptado mediante Resolución 760 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; caso en el que sólo se realizará la medición y verificación con el combustible de mayor uso.

Parágrafo quinto. Las calderas nuevas y existentes que funcionen en el distrito capital en el perímetro urbano deberán realizar un análisis semestral de los gases de combustión CO , CO_2 y O_2 , así mismo se deberá calcular el exceso de oxígeno y eficiencia de combustión, y calibrar su caldera con base en los resultados obtenidos, la información de los análisis de los gases y los soportes de

las medidas de calibración y eficiencia deberán estar disponibles cuando la autoridad ambiental así los disponga.

Parágrafo sexto. Los procedimientos y frecuencias de medición serán los establecidos en el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, última versión, adoptado mediante resolución 760 de 2010 del ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o aquella que la modifique o sustituya.

ARTÍCULO 11. Industrias nuevas y existentes de fabricación de productos de cerámica, no refractaria y de arcilla. Para la industria de fabricación de productos de cerámica, no refractaria y de arcilla, que se encuentra operando antes de la entrada en vigor de la presente resolución se establecen los siguientes límites ver Tabla 4. (Condiciones de referencia 25 o C, y 760 mmHg).

Tabla 4. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia industrias nuevas.

Combustible	Estándares de emisión admisibles (mg/m^3)		
	MP	SO_2	NO_x
Solido	100	400	250
Liquido	100	400	250
Gaseoso	400	NO APLICA	350
Combustible	Estándares de emisión admisibles de contaminantes peligrosos (mg/m^3)		
		HCl	HF
Todos		30	7

Fuente: (Resolución numero 6982, 2011)

Para las industrias de fabricación de productos de cerámica, no refractaria y de arcilla, que inicien actividades luego de la entrada en vigor de la presente resolución se establecen los siguientes límites ver Tabla 10. (Condiciones de referencia 25 o C, y 760 mmHg).

Parágrafo primero. Para los procesos enunciados anteriormente, el oxígeno de referencia para el distrito capital en su perímetro urbano será del 18%.

parágrafo segundo. La temperatura de los gases emitidos por las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla para hornos continuos no debe exceder 180 °c y para el caso de hornos discontinuos la temperatura no debe exceder 250 °c.

Tabla 5. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia industrias nuevas después de entrada vigencia resolución.

Combustible	Estándares de emisión admisibles (mg/m^3)		
	MP	SO_2	NO_x
Solido	50	400	250
Liquido	50	400	250
Gaseoso	50	NO APLICA	250
Combustible	Estándares de emisión admisibles de contaminantes peligrosos (mg/m^3)		
		HCl	HF
Todos		30	7

Fuente: (Resolución numero 6982, 2011)

Parágrafo tercero. Las mediciones directas en hornos discontinuos de industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, debe realizarse de acuerdo con lo

establecido en el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, última versión, adoptado por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Para efectos de la medición, el usuario debe informar ante esta secretaría, la fecha y hora en la que inició el proceso de cocción, así como la carga de material, el consumo y características del combustible y las materias primas; esta información deberá ser remitida a la autoridad ambiental cuando se allegue la solicitud de acompañamiento al estudio de emisiones.

CAPÍTULO VII: Disposiciones finales.

ARTICULO 17.- Determinación de la Altura del Punto de Descarga. La altura mínima del punto de descarga (chimenea o ducto) para instalaciones nuevas y existentes se determinará conforme el siguiente procedimiento:

a) Determinación de la altura del punto de descarga. La altura del punto de descarga (chimenea o ducto) se determinará con base en el flujo volumétrico y másico de los contaminantes, la velocidad de salida de los gases y el diámetro de la chimenea, para lo cual se utilizará la Gráfica

1.

1. Se requieren definir los siguientes datos:

- Diámetro de la chimenea o ducto en metros (m).
- Temperatura de salida de los gases en grados centígrados (°C)
- Flujo volumétrico de los contaminantes (V°) a condiciones Normales en Nm³/h.
- Flujo másico de los contaminantes (Q°), en kg/h.

2. Se determina el factor S tomado de la siguiente tabla, de acuerdo con los contaminantes que emite o puede emitir la industria según lo establecido en los Artículos 4, 7, 9, 10 y 11 de la presente Resolución.

3. Con el valor del diámetro de la chimenea (m) se ingresa al cuadrante inferior de la gráfica y se ubica la curva de la temperatura de salida de los gases de la chimenea o ducto ($^{\circ}\text{C}$).

4. Se sube hasta el cuadrante izquierdo superior de la gráfica hasta la curva del flujo volumétrico de salida de los gases (V°) en Nm^3/h corregido a condiciones de referencia.

5. Se obtiene la relación (μ) entre el flujo másico y el factor S, (Q°/S) y se ubica en el cuadrante derecho de la gráfica hasta obtener la altura mínima de la chimenea en metros (H').

Tabla 6. Factor (S) por contaminante.

N ^o	CONTAMINANTE	FACTOR (S) (mg/Nm^3)
1	Partículas Suspendingas Totales	0.20
2	Ácido clorhídrico, dado como Cl	0.10
3	Cloro (Cl_2)	0.15
4	Acido fluorhídrico, dado como F	0.003
5	Monóxido de carbono (CO)	15.0
6	Dióxido de azufre SO_2	0.20
7	Dióxido de nitrógeno NO_2	0.15
8	Plomo (Pb)	0.005
9	Cadmio (Cd)	0.0005
10	Mercurio (Hg)	0.005

Fuente: (Resolución numero 6982, 2011)

Altura definitiva del punto de descarga. La altura de descarga de las emisiones determinada por el método indicado anteriormente se denomina (H'), la cual se corrige por la altura de las edificaciones cercanas, con base en la figura 17, empleando el siguiente procedimiento:

1. Se determina la mayor altura de las edificaciones presentes en un radio de 50 metros (I').
2. Se calcula la relación de la mayor altura de las edificaciones cercanas y la altura determinada por (I' / H').
3. Se ubica en el eje X de la gráfica 2 la relación (I' / H') desplazándose verticalmente hasta cortar la curva.
4. Una vez sobre la curva se desplaza horizontalmente hasta el eje Y determinando la relación I / I' .
5. De la relación I / I' se despeja I .
6. La altura final de la chimenea será $H' + I$.
7. Se repite este procedimiento para cada uno de los contaminantes a emitir.

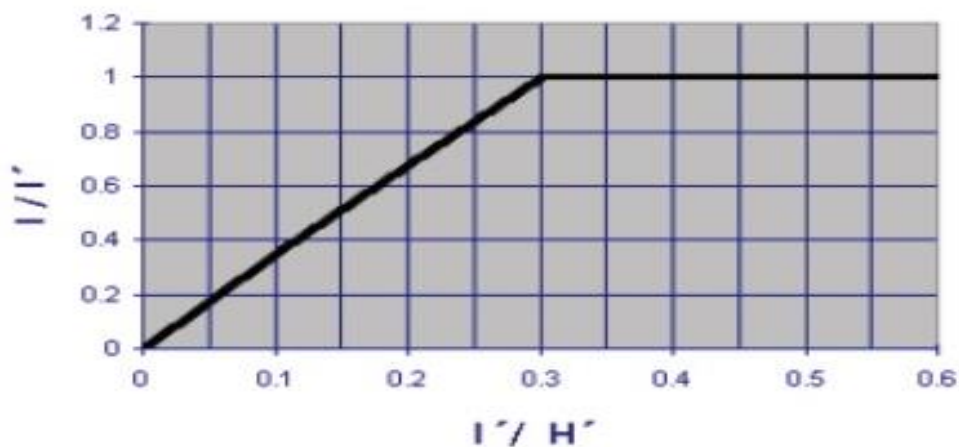


Figura 17. corrección de altura.

Fuente: (Resolución numero 6982, 2011).

Parágrafo primero: Las fuentes de ventilación industrial, deberán adecuar sus ductos o instalar dispositivos de tal forma que se asegure la adecuada dispersión de los gases, vapores, partículas u olores y que impidan causar con ellos molestias a los vecinos o transeúntes.

Parágrafo segundo: Este procedimiento solamente debe aplicarse teniendo en cuenta que las edificaciones cercanas a que hace mención el presente Artículo se encuentren fuera del predio en donde está(n) ubicada(s) la(s) fuente(s).

Parágrafo tercero: Como metodologías alternativas para la determinación de la altura del punto de descarga, se podrán aplicar las buenas prácticas de ingeniería descritas en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica generada por fuentes fijas, última versión, adoptado mediante Resolución 760 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o la que la modifique o sustituya, siempre y cuando se garantice una adecuada dispersión de las emisiones atmosféricas, para lo cual la Secretaria Distrital de Ambiente evaluará cada caso en particular.

3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de investigación

Dado que se busca evaluar la eficiencia energética en los hornos colmena de la empresa Cerámicas América S.A, así como los objetivos trazados, el presente trabajo será elaborado bajo el planeamiento metodológico del enfoque cuantitativo exploratoria descriptiva.

Investigación exploratoria: La investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimientos (Arias, 2012).

Investigación descriptiva: La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere (Arias, 2012).

3.2 Fuentes de información

3.2.1 Fuentes de información primaria.

La información se obtendrá directamente de los distintos jefes encargados de la planta de producción que llevan una serie de parámetros de temperatura que deben alcanzar los hornos colmena a determinadas horas del proceso de cocción, cantidad de carbón utilizado dado en toneladas y de la parte administrativa de la empresa Cerámicas América S.A.

3.2.2 Fuentes de información secundaria.

Se aprovechará la información suministrada por el director del proyecto ingeniero Luis Emilio vera duarte, los profesores del departamento de diseño térmico y demás personal de la empresa Cerámicas América S.A, tecnólogos, técnicos y obreros.

Se tendrán en cuenta los aportes de investigaciones realizadas con anterioridad haciendo uso de los repositorios de distintas universidades a nivel nacional e internacional donde tendremos acceso a tesis de grado y tesis doctorales, además, artículos científicos, revistas científicas y noticias en distintos periódicos que nos aportan a nuestra investigación.

3.3 Técnicas y procedimientos para la recolección de información

La observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos (Arias, 2012).

En este proyecto se utilizará como instrumento de recolección de datos la observación participante estructurada. En este caso como investigadores vamos a formar parte de la planta de producción donde se desarrolla el estudio, además de realizarse en correspondencia con unos objetivos, utilizaremos como base sistemática el cronograma de actividades diseñado previamente.

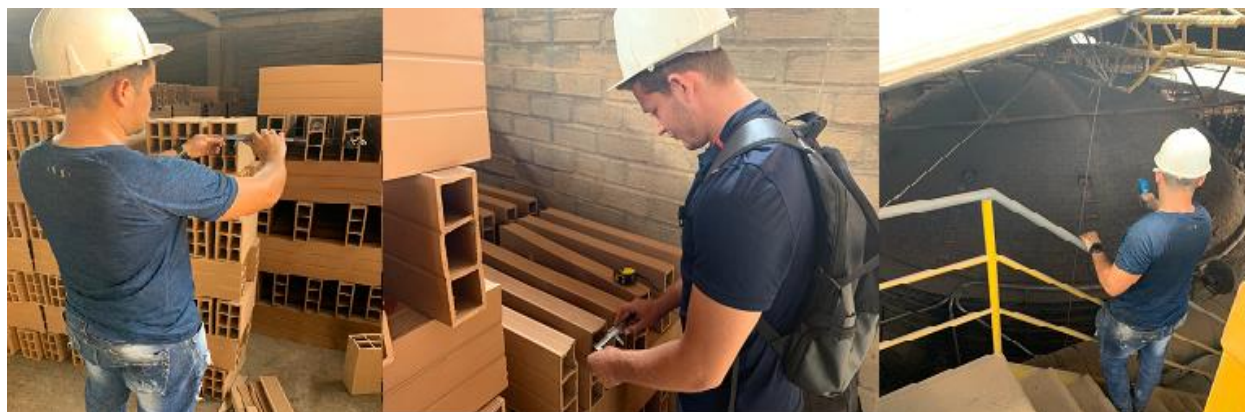


Figura 18. Recolección de datos.

Se llevará a cabo entrevistas no formales con cada uno de los jefes y trabajadores de la planta de producción de la empresa Cerámicas América S.A con el fin de conocer las problemáticas que vienen presentando y obtener la mayor información de cada una de las personas encargadas del

proceso de cocción que nos conlleva al cumplimiento de los objetivos del proyecto. además, se emplearán instrumentos tales como el grabador de voz y la cámara de video.



Figura 19. Instalación de termopar y datos de velocidad de aire.

3.4 Análisis de la información.

Toda la información de la investigación y cumplimiento de los objetivos de este proyecto de acuerdo con el cronograma de trabajo estipulado, serán destinados para la implementación del proceso de cocción de la empresa Cerámicas América S.A y dar un gran aporte en el sector ladrillero a nivel regional y nacional, donde el objeto principal es evaluar la eficiencia energética de los hornos colmena con suministro de carbón manual e inyección de aire.

4. Balance térmico

Los hornos colmena, son hornos cerrados e intermitentes, en los cuales se puede regular mejor el tiro. Puede ser natural o forzado. La alimentación del material seco se realiza por una puerta lateral. El suministro del combustible puede realizarse manualmente mediante hornillas laterales en la pared del horno. Están contruidos en forma de cámaras cilíndricas con paredes y techo en forma de cúpula de ladrillo. Los gases de combustión ascienden entre la pared del horno y los deflectores, llegando hasta la cúpula (parte superior del horno) y luego son obligados a salir por la parte inferior del horno atravesando la carga de arriba hacia abajo (debido a esto son llamados hornos de llama invertida), teniendo en cuenta, además, que se abandona el horno por los ductos diseñados especialmente para la salida de los gases ya que son conducidos hacia la chimenea (Armando, Diego, Dias, Carlos, Sanabria, 2019).

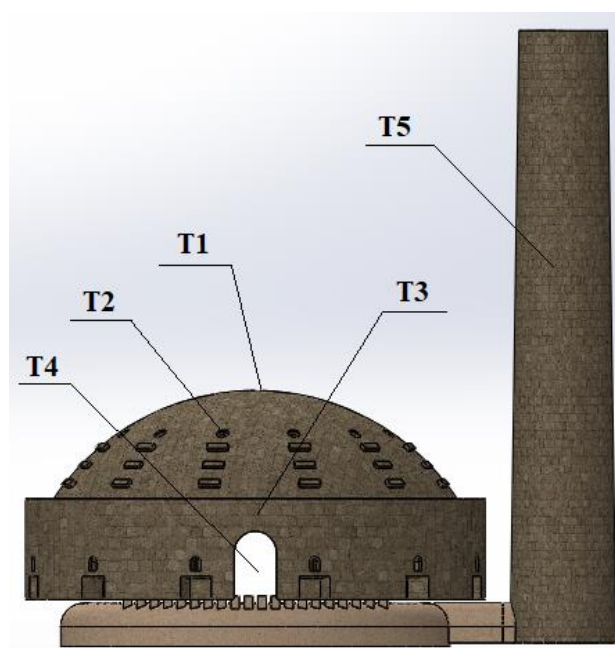


Figura 20. Ubicación de termopares en el horno colmena.

4.1 Instrumentos de medición

Para la recolección de datos necesarios para llevar a cabo el balance energético se utilizaron los siguientes equipos.

4.1.1 Termopares tipo K.

La adquisición de temperaturas internas en diferentes zonas del horno (Ver figura 20) se utilizaron tres termopares tipo K de aleación cromel y alumel con aislamiento cerámico conectadas a un datalogger para el almacenamiento de datos con un intervalo de tiempo de una hora, además, dos termopares tipo K con aislamiento en acero inoxidable, cuentan con un rango de temperatura de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+1372\text{ }^{\circ}\text{C}$



Figura 21. Termopares tipo K con aislamiento cerámico.

4.1.2 Registrador de datos (DATALOGGER).

Dispositivo electrónico que se utilizó para registrar datos de temperatura interna con un intervalo de tiempo de una hora por medio de instrumentos y sensores propios. Por lo general son pequeños, con pilas, portátiles, y equipados con un microprocesador, memoria interna para almacenamiento de datos y sensores. Los registros de temperatura durante el proceso de cocción se compilan en el anexo 1 tabla 13



Figura 22. Registrador de datos (DATALOGGER).

4.1.3 Sensor de temperatura con placa Arduino.

Se utilizó un sensor de temperatura que transforma los cambios de temperatura en señales eléctricas para que pueda ser procesado por la placa Arduino y así poder registrar las temperaturas internas de los termopares 3 y 4 suministradas por la ladrillera, ubicadas en una de las puertas laterales del horno. Los registros de temperatura durante el proceso de cocción se compilan en el anexo 1 tabla 13



Figura 23. Sensor de temperatura con placa Arduino.

4.1.4 Pirómetro óptico.

Se implementó para medir y recopilar la información de temperaturas superficiales entre las distintas zonas del horno donde se ubicaron los termopares con el fin de obtener un delta de temperaturas a lo largo del tiempo. Los registros de temperatura durante el proceso de cocción se compilan en el anexo 1 tabla 13



Figura 24. Pirómetro óptico.

4.2 Evaluación termodinámica del horno colmena de tiro invertido

El combustible utilizado en este tipo de hornos es el carbón mineral. Para el estudio se utilizó el reporte de análisis próximo que realiza la ladrillera para tener un control de calidad. El poder calorífico del carbón es de 33793 kJ/kg y las demás especificaciones se compilan en el anexo 2.

El proceso de cocción dura 48,5 horas, para un consumo total de carbón de 16,5 toneladas, el suministro de este se hace manualmente, se midió utilizando la palada como unidad de medida, con un peso promedio de 6,5 kg para cada una. El horno tiene un total de 12 hornillas. Todos los datos para la prueba se compilan en el anexo 1, tablas A.1 a A.10.

El horno de la empresa cerámicas América S.A utilizado para la evaluación tiene las siguientes dimensiones y características, la memoria de cálculos se hizo en base al documento balance energético y simulación de un horno para arcillas de tiro invertido (Vera Duarte, Guerrero Gómez, & Alberto, 2018).

- Horno circular de diámetro 11 m, de tiro invertido natural
- Altura máxima de la cámara de cocción: 5.8 m
- N° de hornillas o cámaras de combustión: 12
- N° de puertas: 2
- Forma de entrada de aire: tiro natural
- Entradas de combustible: 1 por cada hornilla
- Forma de alimentación de combustible: manual (carbón)
- N° de chimeneas: 1
- Altura de chimenea: 16 m

Los flujos de energía durante el proceso de cocción para el horno son los siguientes:

$$Q_T = Q_m + Q_{cm} + Q_{wm} + Q_{da} + Q_{wc} + Q_{ac} + Q_{wa} + Q_i + Q_c + Q_p + Q_h \quad (14)$$

- Q_T : calor total aportado al horno
- Q_m : calor acumulado de la mampostería
- Q_{cm} : calor necesario para la cocción del material
- Q_{wm} : calor necesario para extraer la humedad del material
- Q_{da} : calor necesario para la descomposición química de la arcilla
- Q_{wc} : calor utilizado en la evaporación de la humedad de carbón
- Q_{ac} : calor utilizado en la formación de agua en la combustión

- Q_{wa} : calor utilizado para calentar la humedad del aire de combustión
- Q_i : calor perdido por inquemados en las cenizas
- Q_c : calor que sale por la cúpula
- Q_p : calor que sale por la pared
- Q_h : calor que sale en los humos

4.2.1 Calor total aportado al horno (Q_T).

Es el calor liberado por el carbón durante la combustión y es igual al poder calorífico multiplicado por la cantidad total consumido durante el proceso de cocción.

$$Q_T = HI * m_c \quad (15)$$

- Q_H : calor de entrada (kj).
- Hi : poder calorífico inferior del carbón (kj/kg).
- m_c : masa de carbón consumida (kg).

Reemplazando los valores se obtiene:

$$Q_T = 33793 \frac{kJ}{kg} * 16500 kg$$

$$Q_T = 557584500 kJ$$

4.2.2 Acumulación de calor en mampostería (Q_m).

Parte del calor suministrado al horno, se acumula en sus partes. Para procesos de quemas continuas, la influencia de este calor acumulado es favorable, pues este no se alcanza a desalojar totalmente durante el enfriamiento, para la evaluación de este calor se utiliza la siguiente expresión:

$$Q_m = Q_{cp} + Q_{pd} + Q_{tuh} + Q_{df} \quad (16)$$

- Q_{cp} : calor acumulado en la cúpula (kJ)
- Q_{pd} : calor acumulado en la pared (kJ)
- Q_{tuh} : calor acumulado en los túneles de humos (kJ)
- Q_{df} : calor acumulado en deflectores (kJ).

El calor acumulado en cada una de estas partes se calcula por:

$$Q_{xo} = V_{xo} * \rho * C_o * (T_{xm} - T_o) \quad (17)$$

- V_{xo} : volumen parcial del horno (m^3)
- P : densidad del ladrillo del horno ($1\ 800\ kg/m^3$)
- C_o : calor específico del ladrillo del horno ($0,84\ kJ/kg-k$)
- T_{xm} : temperatura media parcial del horno ($^{\circ}C$).
- T_o : temperatura inicial ($^{\circ}C$).

Luego, el calor total acumulado en la mampostería se evalúa por:

$$Q_m = \rho * c_o \left\{ (V_c * (T_{mc} - T_o)) + (V_p * (T_{mp} - T_o)) + (V_{pi} * (T_t - T_o)) + (V_{df} * (T_i - T_o)) \right\} \quad (18)$$

- T_{mc} : temperatura media de la cúpula ($^{\circ}C$)
- T_{mp} : temperatura media de la pared ($^{\circ}C$)
- T_t : temperatura promedio del piso del horno ($^{\circ}C$)
- T_i : temperatura interior en el horno ($^{\circ}C$)
- T_o : temperatura inicial de cada parte del horno ($^{\circ}C$)

- V_{pi} : volumen del piso del horno (m^3)
- V_p : volumen de la pared (m^3)
- V_c : volumen de la cúpula (m^3)
- V_{df} : volumen de los deflectores (m^3)

Las temperaturas medias se calculan con los datos leídos y tabulados (ver anexo 1, tabla a.1), para los túneles de humos se consideró una temperatura promedio para todos ellos, tomando en cuenta que están sumergidos en los gases calientes y no todos alcanzan la misma temperatura.

$$T_m = \frac{T_i + T_e}{2} \quad (19)$$

$$T_{mc} = \frac{1074 + 136,2}{2} = 605,1 \text{ °c} = 878,1 \text{ k}$$

$$T_{mc} = \frac{1020 + 83,5}{2} = 551,75 \text{ °c} = 824,75 \text{ k}$$

$$T_t = 500 \text{ °c} = 773 \text{ k}$$

$$T_o \approx 50 \text{ °c} \approx 323 \text{ k}$$

4.2.2.1 Volumen de la pared.

La pared del horno es un cilindro con diámetros interno y externo de 13 y 11 m, altura de 2,80 m, el espesor de la pared es de 1 m, a este volumen se le resta los volúmenes de las doce hornillas y los volúmenes de las dos puertas.

$$V_p = \frac{\Pi}{4} (D_o^2 - D_i^2) * l - \left[12 \left(\frac{\Pi}{8} d_h^2 + l_h * b_h \right) + 2 \left(\frac{\Pi}{8} d_p^2 + l_p * b_p \right) \right] t_p \quad (20)$$

- D_o : diámetro exterior del horno (13 m)
- D_i : diámetro interior del horno (11 m)

- d_h : diámetro de la hornilla (0,3 m)
- d_p : diámetro de la puerta (1,2 m)
- L : altura del horno (2,80 m)
- l_h : altura de la hornilla (0,40 m)
- l_p : altura de la puerta (1,90 m)
- b_h : base de la hornilla (0,3 m)
- b_p : base de la puerta (1,20 m)
- t_p : espesor de la pared (1 m)

Por lo tanto, el volumen de la pared del horno es:

$$V_p = \frac{\pi}{4} (13^2 - 11^2) * 2,80 - \left[12 \left(\frac{\pi}{8} 0,3^2 + 0,4 * 0,3 \right) + 2 \left(\frac{\pi}{8} 1,2^2 + 1,90 * 1,20 \right) \right]$$

$$V_p = 98 \text{ m}^3$$

4.2.2.2 El volumen de la cúpula:

Se calcula como un segmento esférico.

$$V_c = \frac{\pi}{6} \left[h_o * \left(\frac{3}{4} D^2 + h_o^2 \right) - h_i * \left(\frac{3}{4} D_i^2 + h_i^2 \right) \right] \quad (21)$$

- D : diámetro del segmento mayor (11,8 m)
- D_i : diámetro interior del horno (11 m)
- h_o : altura del segmento mayor (3 m)
- h_i : altura del segmento menor (2,6 m)

Por tanto, el volumen por la cúpula será:

$$V_c = \frac{\Pi}{6} \left[3 * \left(\frac{3}{4} 11,8^2 + 3^2 \right) - 2,6 * \left(\frac{3}{4} 11^2 + 2,6^2 \right) \right]$$

$$V_c = 45,43$$

4.2.2.3 Volumen de los deflectores.

Los deflectores son paredes colocadas dentro del horno frente a las hornillas, que obligan a los gases de combustión a subir siguiendo la pared y techo del horno y así evitar que estos gases choquen directamente con el material a cocer, el volumen de los deflectores es:

$$V_{df} = N_{df} * t_{df} [L_{pdf} * e_{pdf} + 2 * l_{dff} * e_{ldf}] \quad (22)$$

- N_{df} : número de deflectores (12)
- l_{pdf} : longitud de pared de fondo (0,9 m)
- t_{df} : altura del deflector (1,40 m)
- e_{pdf} : espesor de pared de fondo (0,22 m)
- l_{ldf} longitud de pared lateral (0,4 m)
- e_{ldf} : espesor de pared lateral (0,11 m)

$$V_{df} = 12 * 1,40 [0,9 * 0,22 + 2 * 0,4 * 0,11]$$

$$V_{df} = 4,80 \text{ m}^3$$

4.2.2.4 Volumen del piso del horno.

Este comprende los volúmenes de los túneles de limpieza, humos y periférico, volumen de las falcas y de los muros de apoyo.

$$V_{pi} = V_{tp} + V_{ta} + V_{mf} + V_f \quad (23)$$

- V_{tp} : volumen del túnel principal (m^3)
- V_{ta} : volumen del túnel de anillo (m^3)
- V_{mf} : volumen del muro de apoyo de las falcas (m^3)
- V_f : volumen de las falcas (m^3)

4.2.2.5 Volumen del túnel principal.

Este recoge los humos para llevarlos hacia la chimenea.

$$V_{tp} = \left[b_{tp} * l_{tp} + \frac{\pi}{8} (d_{etp}^2 - d_{itp}^2) \right] * t_{tp} \quad (24)$$

- b_{tp} : base del muro del túnel principal (0,9 m)
- l_{tp} : altura del muro del túnel principal (0,97 m)
- d_{etp} : diámetro exterior del túnel principal (1,01 m)
- d_{itp} : diámetro interior del túnel principal (0,9 m)
- t_{tp} : profundidad del túnel principal (17 m)

$$V_{tp} = \left[0,9 * 0,97 + \frac{\pi}{8} (1,01^2 - 0,9^2) \right] * 17$$

$$V_{tp} = 15,17 \text{ m}^3$$

4.2.2.6 El volumen por muros de apoyos de las falcas.

Con una profundidad promedio de 10,78 m y para 28 muros; su volumen será:

$$V_{mf} = b_m * L_m * t_m \quad (25)$$

- b_m : ancho de cada muro (0,24 m)
- l_m : altura del muro (1,4 m)
- t_m : profundidad del muro (10,78 m)

$$V_{mf} = 0,24 * 1,4 * 10,78$$

$$V_{mf} = 3,62 * 28 \text{ muros}$$

$$V_{mf} = 101,42 \text{ m}^3$$

4.2.2.7 El volumen del túnel periférico.

Se calcula como la mitad de una circunferencia, el perímetro se trabajará como la profundidad, ese diámetro será el centro de la semicircunferencia.

$$V_{ta} = \left[(b_{ta} * l_{ta}) + \frac{\pi}{8} (d_{tao}^2 - d_{tai}^2) \right] * \pi * t_{ta} \quad (26)$$

- b_{ta} : base del muro del túnel periférico (0,9 m)
- l_{ta} : altura del muro del túnel periférico (0,9 m)
- d_{tao} : diámetro exterior de la cúpula del anillo (1,01 m)
- d_{tai} : diámetro interior de la cúpula del anillo (0,9 m)
- t_{ta} : diámetro del túnel (10,78 m)

$$V_{ta} = \left[(0,9 * 0,9) + \frac{\pi}{8} (1,01^2 - 0,9^2) \right] * \pi * 10,78$$

$$V_{ta} = 30,23 \text{ m}^3$$

4.2.2.8 El volumen de las falcas.

Este se calcula sobre el área del piso y restando el área que ocupan los 12 deflectores. El volumen de las falcas es:

$$A_i = \frac{\pi}{4} D_i^2 - 12(b_d * t_d) \quad (27)$$

- A_i : área interior sin deflectores de humos (m^2)

- D_i : diámetro interior del horno (11 m)
- b_d : base del deflector de humos (0,90 m)
- t_d : profundidad del deflector de humos (0,62 m)

$$A_i = \frac{\Pi}{4} 11^2 - 12(0,90 * 0,62)$$

$$A_i = 88,34 \text{ m}^2$$

El n° de falcas se determina considerando el área como rectángulo de cada una, así el número de falcas es:

$$\text{N}^\circ \text{ falcas} = \frac{A_i}{b_f * l_f} \quad (28)$$

- b_f : base de la falca, considerando un espacio entre ellos (0,22 m)
- l_f : largo de la falca, considerando un espacio entre ellos (0,35 m)

$$\text{N}^\circ \text{ falcas} = \frac{88,34}{0,22 * 0,35}$$

$$\text{N}^\circ \text{ falcas} = 1147$$

El área neta de cada falca es $a_f = 0,0480$, el volumen total de la falca será:

$$V_f = A_f * t_f * N_f \quad (29)$$

- t_f : profundidad de la falca (0,11 m)

$$V_f = 0,0480 * 0,11 * 1147$$

$$V_f = 6,06 \text{ m}^3$$

Reemplazando en la ecuación 10, el volumen del piso será:

$$V_{pi} = 15,17 + 101,42 + 30,23 + 6,06$$

$$V_{pi} = 152,87 \text{ m}^3$$

Reemplazando en la ecuación 5, la acumulación de calor en mampostería es:

$$Q_m = 1800 * 0,84[45,43 * (878,1 - 323) + 98 * (824,75 - 323) + 152,87 * (773 - 323) + 4,81 * (1000 - 323)]$$

$$Q_m = 221497526,4 \text{ kj}$$

4.2.3 Calor por carga del material a cocer (Q_{cm}).

Es el calor necesario para la cocción de los productos; este calor es igual a:

$$Q_{cm} = m_{se} * C_{om} * (T_{max} - T_{min}) \quad (30)$$

- m_{se} : masa seca de la carga (kg)
- C_{om} : calor específico de las arcillas (0.88 $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$). (incropera & dewitt, 1996)
- T_{max} : temperatura máxima de los materiales ($^{\circ}\text{C}$)
- T_{mi} : temperatura de entrada de los materiales ($^{\circ}\text{C}$)

$$m_{se} = (1 - \gamma_m) * m_t \quad (31)$$

- m_t : masa total de carga (kg)
- γ_m : humedad del material (4%) (vera duarte, guerrero gómez, & alberto, 2018).

Por lo tanto, la masa seca a cocer es:

$$m_{se} = (1 - 0,04) * 117000 \text{ kg}$$

$$m_{se} = 112320 \text{ kg}$$

Reemplazando en la ecuación 30, el calor será

$$Q_{cm} = 112320 * 0,88 * (1074 - 20)$$

$$Q_{cm} = 104179046,4 \text{ kJ}$$

4.2.4 Calor para sacar la humedad del material (Q_{wm}).

Es el calor necesario para evaporar el agua del proceso, que ha quedado después del secado.

$$Q_{wm} = m_t * \Gamma_m * (h_g - U_m) \quad (32)$$

- h_g : entalpía del vapor de agua (kJ/kg)
- U_m : energía interna del agua dentro del material (kJ/kg)
- Γ_m : : % de humedad del material al entrar al horno (4%)

esta agua se evapora a los 150°C , y entra al horno con el material a 20°C .

$$Q_{wm} = 145500 * 0,04 * (2745,9 - 83,913)$$

$$Q_{wm} = 15492764,34 \text{ kJ}$$

4.2.5 Calor necesario para la descomposición química de la arcilla (Q_{da}).

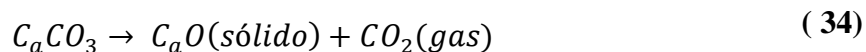
En este se considera el calor para la descomposición química de los carbonatos (CaCO_3) y la evaporación del agua combinada presentes en la arcilla. Este esté dado por:

$$Q_{da} = m_{se} * (C_{dq} \text{ CaCO}_3 + C_o \text{ agua}) \quad (33)$$

Considerando la pérdida de peso de los productos durante la cocción y descontando la humedad libre con que entran al horno (4%), queda una pérdida de peso promedio del 6.01% , que se

considera el peso perdido por la descomposición del CaCO_3 y por la evaporación del agua combinada.

El CaCO_3 se descompone en:



Esta descomposición se produce sobre la zona de cocción a entre 600 y 800 °c, el calor de reacción es de 607.2 kJ/kg de CO_2 producido, tomada a 600 °c. La cantidad de carbonatos en las arcillas de la zona de cúcuta es de trazas, por lo tanto, este CO_2 producido es despreciable, lo que indica que la pérdida de peso del material se debe al agua combinada este es de 6.01 %, y la energía necesaria para este proceso es de (3705,0 – 83,913) kJ/kg agua, tomada a 600 °c.

$$Q_{da} = 139680 * 0,0601(3705,0 - 83,913)$$

$$Q_{da} = 25109481,43 \text{ kJ}$$

4.2.6 Calor por humedad del carbón (Q_{wc}).

El agua contenida en el carbón es calentada a la temperatura de ebullición de 100 °c, se evapora y luego se recalienta a la temperatura de los humos, por lo que el calor necesario para evaporar la humedad del carbón es:

$$Q_{wc} = m_c * \Gamma_c * (h_{ga} - U_c) \quad (35)$$

- m_c : masa total del carbón (kg)
- Γ_c : humedad del carbón (0,9%)
- U_c : energía interna del agua en el carbón (kJ/kg)
- h_{ga} : entalpía del vapor de agua a la temperatura de los gases de chimenea (kJ/kg)

El cálculo tipo se presenta a continuación:

$$Q_{wc} = 358,7 * 0,0172 * (236,9544 - 83,95)$$

$$Q_{wc} = 943,982 \text{ kj}$$

Y el calor total para sacar la humedad del carbón es (ver anexo 1, tabla 15):

$$Q_{wc} = 338654,8533 \text{ kj}$$

4.2.7 Calor por agua formada en la combustión (Q_{ac}).

Es el calor que absorbe el agua que se forma por la combustión del hidrogeno, por efectos de calentarse, evaporarse y sobrecalentar hasta la temperatura a la cual sale con los humos.

$$Q_{ac} = m_{cu} * m_{ac} * (h_g - U_a) \quad (36)$$

- m_{ac} : masa del agua formada en la combustión ($kg \text{ h}_2\text{o}/kg \text{ comb}$)
- m_{cu} : masa del carbón durante la cocción (kg)
- h_g : entalpía del agua de vapor (kJ/kg)
- U_a : Energía interna del agua (kJ/kg), a la temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$m_{ac} = 9 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \quad (37)$$

Reemplazando, se tiene:

$$m_{ac} = 9 \left(0,051 - \frac{0,060}{8} \right)$$

$$m_{ac} = 0,3848 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg carbon}}$$

Reemplazando en la ecuación 36, se tendrá:

$$Q_{ac} = 358,7 * 0,3848 * (236,95 - 83,95)$$

$$Q_{ac} = 21118,8546 \text{ KJ}$$

El calor total necesario para evaporar el agua formada en la combustión es (ver anexo 1, tabla 16):

$$Q_{ac} = 7576417,882 \text{ KJ}$$

4.2.8 Calor por humedad de aire (Q_{wa}).

El aire presenta una humedad natural que depende de las condiciones atmosféricas del lugar, produciendo una pérdida de energía cuando se introduce para realizar la combustión.

$$Q_{wa} = m_{wa} * m_{as} * m_{cu} * (h_{ga} - h_{wa}) \quad (38)$$

- m_{as} : Masa de aire seco (kg Aire/kg Comb)
- m_{wa} : Masa de humedad del aire (kg H_2O /kg Aire)
- m_{cu} : Masa de combustible (kg comb)
- h_{ga} : Entalpía de los gases (kj/kg)
- h_{wa} : Entalpía del agua (kj/kg Agua)
- ϕ : Humedad relativa (70%) (Vera Duarte, Guerrero Gómez, & Alberto, 2018).
- T_{bs} : Temperatura de bulbo seco (27 °C),

$$\left. \begin{array}{l} \phi: 70\% \\ \\ T_{bs}: 27^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} m_{wa} = 0,016 \frac{\text{kg}H_2O}{\text{kgAire seco}} \text{ (Wark, 1999)} \\ \\ h_{wa} = 68 \frac{\text{kJ}}{\text{kgAire}} \end{array}$$

La masa de aire seco será:

- V_{sd} : Flujo estándar de aire seco

- V_{sd} : Flujo volumétrico estándar de humos

Calculando para la combustión del carbón se tiene:

- $V_g A_o$: Volumen de humos para el aire teórico
- $V_g A_r$: Volumen de humos para el aire real
- Λ : Factor de aire
- A_{om} : Masa de aire teórico (*kg aire/kgcomb*)
- A_{rm} : Masa de aire real (*kg aire/kgcomb*)

Ecuaciones de boie para aire teórico y volumen de humos Para solidos combustibles.

$$A_{ov} = \left(\frac{1,01}{1000} \right) * HI \frac{kcal}{kg} + 0,55 \quad (39)$$

$$HI = 8071 \frac{kcal}{kg} \text{ carbon dinastia}$$

$$A_{ov} = \left(\frac{1,01}{1000} \right) * 8071 + 0,55 \frac{m^3 n \text{ aire}}{kg \text{ comb}}$$

$$A_{ov} = 8,70171 \frac{m^3 n \text{ aire}}{kg \text{ comb}}$$

$$V_g A_o = \left(\frac{0,89}{1000} \right) * HI + 1,05 \frac{m^3 n \text{ aire}}{kg \text{ comb}}$$

$$V_g A_o = \left(\frac{0,89}{1000} \right) * 8071 + 1,05 \frac{m^3 n \text{ aire}}{kg \text{ comb}}$$

$$V_g A_o = 8,83319 \frac{m^3 n \text{ aire}}{kg \text{ comb}}$$

$$V_g A_r = V_g A_o + A_{ov} (\Lambda - 1) \frac{m^3 n \text{ aire}}{kg \text{ comb}} \quad (40)$$

Tabla 7. Factores de aire recomendados.

Combustible	Factor de aire λ
Carbón suministrado manualmente	1,5 - 2,5
Carbón suministrado mecánicamente	1,3 - 1,5
Carbón pulverizado	1,2 - 1,3
Combustibles líquidos	1,15 - 1,3
Quemadores a gas atmosféricos	1,25 - 1,5
Quemadores a gas a tiro forzado	1,1 - 1,3

Fuente: (Vera Duarte L. , 2016)

Para $\lambda = 1,7$

$$V_g A_r = 8,83319 + 8,70171 (1,7 - 1) \frac{m^3 n \text{ aire}}{kg \text{ comb}}$$

$$V_g A_r = 14,924387 \frac{m^3 n \text{ aire}}{kg \text{ comb}}$$

$$A_{rv} = A_{ov} * \lambda \quad (41)$$

$$A_{rv} = 8,70171 \frac{m^3 n \text{ aire}}{kg \text{ comb}} * 1,7$$

$$A_{rv} = 14,792907 \frac{m^3 n \text{ aire}}{kg \text{ comb}}$$

$$A_{rm} = A_{rv} \frac{m^3 n \text{ aire}}{kg \text{ comb}} * \frac{1 \text{ kmol}}{22,4 m^3 n \text{ aire}} * \frac{29,87}{1 \text{ kmol}}$$

$$A_{rm} = 14,792907 * \frac{m^3 n \text{ aire}}{kg \text{ comb}} * \frac{1 \text{ kmol}}{22,4 m^3 n \text{ aire}} * \frac{29,87}{1 \text{ kmol}}$$

$$A_{rm} = 19,72607733 \frac{kg \text{ aire}}{kg \text{ comb}}$$

Reemplazando, para el primer delta de temperatura se obtiene:

$$Q_{wa} = 19,72607733 * 0,016 * 358,7 * (236,95 - 68)$$

$$Q_{wa} = 19127,64915 \text{ KJ}$$

El calor total utilizado en evaporar la humedad del aire es (ver anexo 1, tabla 17):

$$Q_{wa} = 6296720,638 \text{ KJ}$$

4.2.9 Calor por inquemados (Qi).

Es el carbón que queda sin quemar en las cenizas, debido a la no uniformidad del tamaño de las partículas, a la mala distribución de este en la hornilla, por lo tanto, se presenta una combustión incompleta.

$$Q_i = m_c * c_e * p_f * p_{cq} \quad (42)$$

- C_e : Cenizas residuales (4,02 % del carbón consumido)
- P_f : Pérdida al fuego (15,8 %)
- P_{cq} : Poder calorífico del carbón como quemado (kj/kg)

Reemplazando

$$Q_i = 16500 * 0,0402 * 0,158 * 34385$$

$$Q_i = 3603596,139 \text{ kj}$$

4.2.10 Calor perdido por la cúpula (Q_c).

Debido a la diferencia de temperaturas en diferentes secciones de esta, el calor se calcula dividiendo la cúpula en tres secciones, una como un segmento esférico y dos secciones como segmentos truncados.

Se calcula el calor por conducción unidimensional en la dirección radial y, de estado transitorio; la conductividad térmica del material se considerará como homogénea.

Al adoptarse la temperatura de los gases medidos internamente en la cúpula, como la temperatura de la superficie interior, se obtienen las pérdidas de calor máxima durante el proceso de cocción.

$$Q_c = Q_{c1} + Q_{c2} + Q_{c3} \quad (43)$$

- Q_{c1} : Calor por segmento esférico uno (kJ)
- Q_{c2} : Calor por segmento truncado dos (kJ)
- Q_{c3} : Calor por segmento truncado tres (kJ)

4.2.10.1 Para el segmento esférico uno.

Para el cálculo del calor perdido se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{c1} = U * (\Delta T) * t \quad (44)$$

- Q_{c1} : Calor por segmento esférico uno (kJ)
- U : Coeficiente global de transferencia de calor (w/K)
- ΔT : Cambio de temperatura (K)
- T : Tiempo transcurrido entre la toma de temperaturas (segundos).

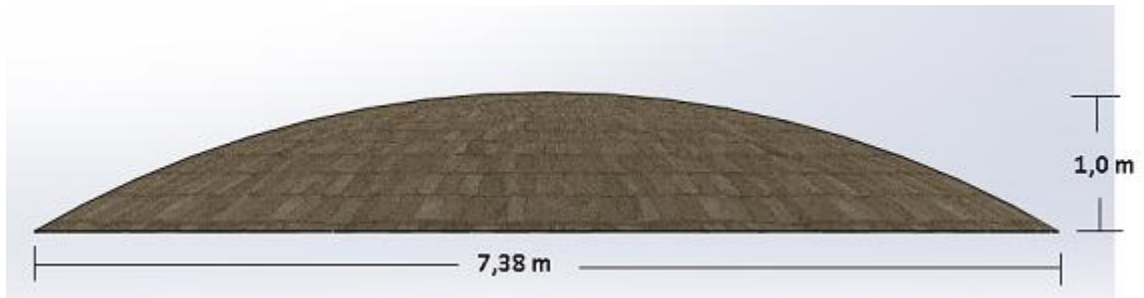


Figura 25. Segmento esférico de la cúpula.

➤ U : Coeficiente global de transferencia de calor (w/K)

➤ ΔT : Cambio de temperatura (K)

$$U = \frac{1}{R_K} \quad (45)$$

➤ R_k : Resistencia por conducción (K/w)

$$R_K = \frac{R_o - r_i}{K * A_i} \quad (46)$$

➤ A_1 : Área del segmento esférico (m^2)

➤ K : Conductividad térmica del ladrillo ($1,8 w/m-K$) (Incropera & Dewitt, 1996)

$$A_1 = \frac{\pi}{4} * (D_1^2 + 4h_i^2) \quad (47)$$

➤ D_1 : Diámetro del segmento esférico ($7,38 m$)

➤ H_1 : Altura del segmento esférico ($1 m$)

Reemplazando en las ecuaciones 44 hasta 47 se obtiene:

$$A_1 = \frac{\pi}{4} * (7,38^2 + 4 * 1^2)$$

$$A_1 = 45,91 m^2$$

$$R_K = \frac{7,3 - 6,98}{1,8 * 45,91}$$

$$R_K = 0,00387 \frac{K}{W}$$

$$U = \frac{1}{0,00387}$$

$$U = 258,24 \frac{W}{K}$$

Las temperaturas serán indicadas en el anexo 1, tabla 13, con un tiempo transcurrido en su lectura, sabiendo así el calor que se pierde en el transcurso de tiempo.

Para la primera medida y para un tiempo de 1 hora y el delta de temperatura entre $T_{li} = 48,9^\circ\text{C}$ y $T_{le} = 40,9^\circ\text{C}$; el calor perdido es:

$$Q_{c1} = 7437,312 \text{ kj}$$

El calor total perdido por el segmento esférico uno es (ver anexo 1, tabla 18)

$$Q_{c1} = 24681928,44 \text{ kj}$$

4.2.10.2 Para el segmento esférico truncado dos.

Utilizando las mismas ecuaciones del segmento esférico uno, pero variando el área; se procede a calcular.

$$A_2 = \frac{A * \Pi^2}{180} * r_i * D_2 \quad (48)$$

- A: Angulo del segmento esférico dos ($13,1^\circ$)
- A_2 : Área del segmento esférico truncado (m^2)
- D_2 : Diámetro del segmento esférico truncado ($5,72 \text{ m}$)

$$A_2 = \frac{13,7 * \pi^2}{180} * 7,30 * 5,72$$

$$A_2 = 30 \text{ m}^2$$

$$R_k = \frac{7,3 - 6,98}{1,8 * 30}$$

$$R_k = 0,00592 \frac{\text{k}}{\text{w}}$$

$$U = \frac{1}{0,00592}$$

$$U = 168,75 \frac{\text{w}}{\text{k}}$$

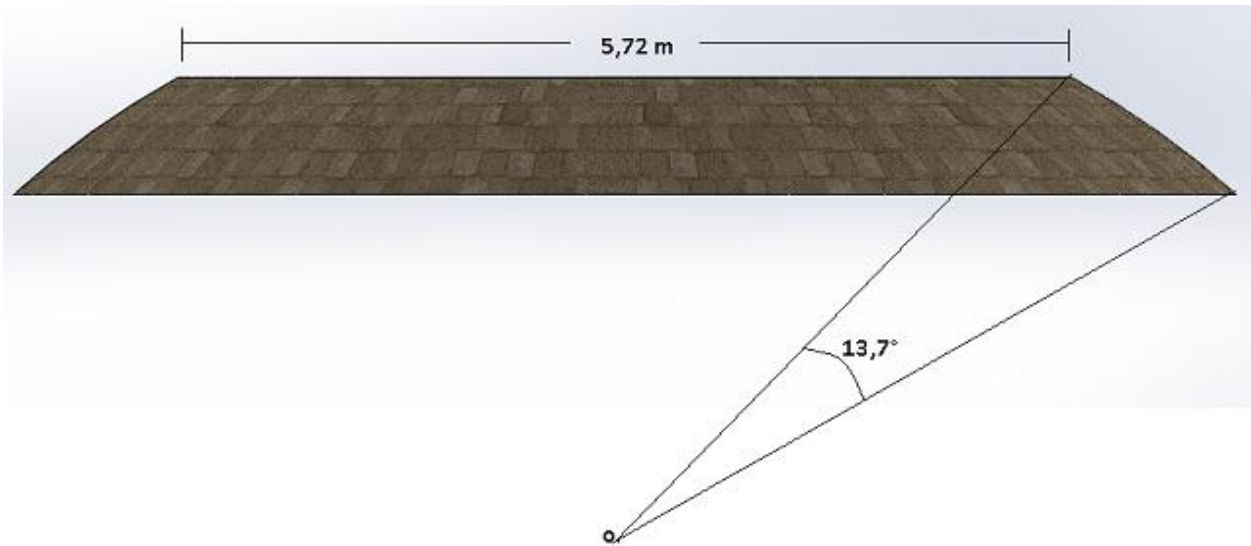


Figura 26. Segmento esférico truncado dos.

Las temperaturas están indicadas en el anexo 1, tabla 13, así el calor que se pierde para un tiempo de 1 hora y el delta de temperatura entre $T_{2i} = 47 \text{ °C}$ y $T_{2e} = 41 \text{ °C}$, el calor perdido será:

$$Q_{c2} = 10145,25 \text{ kj}$$

El calor total perdido en el segmento truncado dos es (ver anexo 1, tabla 19):

$$Q_{c2} = 18411502,5 \text{ kj}$$

4.2.10.3 Para el segmento esférico truncado tres.

Utilizando las anteriores ecuaciones del segmento esférico uno, Pero variando el área, se utilizando la ecuación 40, para determinar el área, donde para este segmento el ángulo barrido (α) son $10,5^\circ$.

$$A_3 = \frac{10,5 * \pi^2}{180} * 7,30 * 8,99$$

➤ A_3 : Área del segmento esférico truncado (m^2)

$$A_3 = 37,78 \text{ m}^2$$

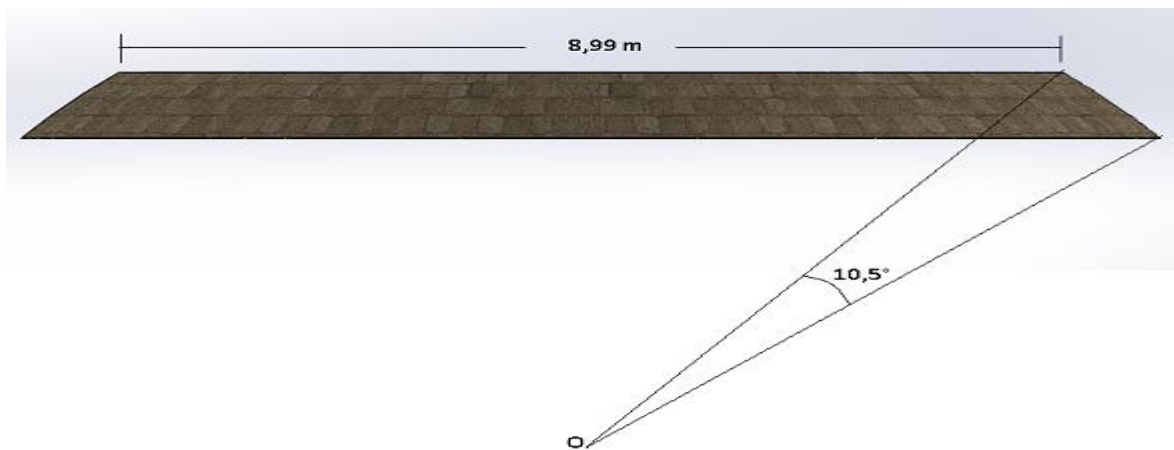


Figura 27. Segmento esférico truncado tres.

$$R_k = \frac{7,30 - 6,98}{1,8 * 37,78}$$

$$R_k = 0,00470 \frac{\text{k}}{\text{w}}$$

$$U = \frac{1}{0,00470}$$

$$U = 212,51 \frac{W}{K}$$

Las temperaturas y el tiempo transcurrido están indicadas en el anexo 1, tabla 13, para un tiempo de 1 hora y el delta de temperatura entre $T_{3i} = 46 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{3e} = 39,6 \text{ }^\circ\text{C}$; el calor perdido será.

$$Q_{c3} = 4896,2304$$

El calor total perdido por el segmento truncado tres es (ver anexo 1, tabla 20):

$$Q_{c3} = 24813789,65 \text{ kJ}$$

Reemplazando la ecuación 34, el calor total perdido por la cúpula es

$$Q_c = 67907220,59 \text{ kJ}$$

4.2.11 Calor perdido por pared (Qp).

El flujo de calor es radial para un anillo y, despreciando la perdida por el extremo superior; para la pared se utiliza ladrillo común con conductividad térmica de $0,72 \text{ w/m-K}$; para el respectivo cálculo se utilizan las ecuaciones 44 y 45. Utilizando la ecuación 49 del autor (Incropera & Dewitt, 1996) para conocer el valor de la resistencia para un cilindro.

$$R_k = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2 * \pi * k * L} \quad (49)$$

$$R_k = \frac{\ln\left(\frac{6,5}{5,5}\right)}{2 * \pi * 0,72 * 1}$$

$$R_k = 0,036927 \frac{K}{W}$$

$$U = \frac{1}{0,036927}$$

$$U = 27,08041189 \frac{W}{k}$$

Para un tiempo de 1 hora y el delta de temperatura entre, $T_{4i} = 32,4 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{4e} = 31 \text{ }^\circ\text{C}$; el calor perdido será:

$$Q_p = 1364,852759 \text{ kj}$$

El calor total perdido por la pared del horno es (ver anexo 1, tabla 21)

$$Q_p = 23504909,28 \text{ kj}$$

4.2.12 Calor por los humos (Q_h).

Es el calor que sale por la chimenea con los humos de la combustión.

$$Q_h = (m_{hu} * m_{comb} * c_p * \Delta T) \quad (50)$$

- m_{hu} : masa de humos por unidad de combustible (kg humos/kg de comb)
- m_c : cantidad de carbón consumido (kg/h)
- C_g : Calor específico de los gases de escape ($kJ/(kg * K)$)
- ΔT : Diferencia de temperatura entre los gases de escape y el medio ambiente (K)

El calor específico de los gases es función de la temperatura de estos, según la siguiente ecuación (Serrano Trillos, 1980):

$$C_g = (0,023 + 0,00005 * T_{6i}) * 4,187 \quad (51)$$

Se procederá a calcular la masa de los gases producidos por kilogramo de carbón, y a continuación se hará un ejemplo del cálculo del calor perdido por los humos.

Luego se reemplaza en la ecuación 50, estas temperaturas están tabuladas en el anexo 1, tabla 13, son las T_{5i} y T_{5e} .

$$Q_h = 21,64 * 358,7 * 1,03201176 * (56,6 - 50,3)$$

$$Q_h = 50467,73672 \text{ kj}$$

El calor total perdido por los humos es (ver anexo 1, tabla 22):

$$Q_h = 21046104,33 \text{ kj}$$

4.2.13 Perdidas intangibles (Q_{in}).

Es la energía pérdida por fenómenos que presentan dificultades para determinarse como puede ser: hidrogeno, hidrocarburos en los humos negros y la radiación hacia el exterior de las hornillas, esta pérdida se determina como la diferencia entre la energía disponible por el combustible y la sumatoria de los calores calculados anteriormente.

$$Q_{in} = (Q_T - \sum q) \quad (52)$$

$$Q_{in} = (557584500 - 474746805,7)$$

$$Q_{in} = 82837694,3 \text{ KJ}$$

La tabla 8 muestra el resumen del balance termodinámico.

Tabla 8. Balance Termodinámico del horno colmena de tiro invertido.

Descripción	(kJ)	Porcentaje %
Calor de entrada	557584500	100
Acumulación de calor en mampostería	221497526,4	39,7

Calor por carga del material a coser	104179046,4	18,7
Calor por sacar la humedad del material	15492764,34	2,8
Calor por descomposición de la arcilla	25109481,43	0,6
Calor por humedad del carbón	338654,8533	0,06
Calor por agua de combustión	7576417,882	1,36
Calor por humedad de aire	6296720,638	1,13
Calor por inquemados	3603596,139	0,65
Calor por cúpula	67907220,59	12,2
Calor por pared	23504909,28	4,2
Calor por los humos	21046104,33	3,8
Cantidad de calor total.	474746805,7	85,2
Calor por intangibles	82837694,3	14,8
Total	557584500	100

4.2.14 Rendimientos del horno.

Este se determina por:

4.2.14.1 Por calor real utilizado para la cocción del material:

$$\eta = \frac{Q_{cm} + Q_{hm} + Q_{dq}}{QT} \quad (53)$$

$$\eta = \frac{104179046,4 + 15492764,34 + 3303844,894}{557584500}$$

$$\eta = 22,05 \%$$

4.2.14.2 Cantidad de calor por kilogramo material cocido:

$$Q = \frac{Q_T}{\text{Peso material}} \quad (54)$$

$$Q = \frac{557584500 \text{ kj}}{117000 \text{ kg}}$$

$$Q = 4765,68 \frac{\text{kj}}{\text{kg material}}$$

5. Simulación del horno colmena

Para llevar a cabo esta simulación se decidió hacer una búsqueda de proyectos y artículos relacionados con la combustión en el paquete computacional ANSYS FLUENT. Recolectando suficiente información respecto al proceso que estos hornos desarrollan, además, se contó con la ayuda de la empresa en la cual se efectuó el previo estudio brindando datos e información valiosa para la elaboración del diseño del horno e información de los procesos de cocción de la materia prima.

5.1 Geometría del horno a simular

El horno empleado para la simulación en el software ANSYS- FLUENT, está ubicado en el corregimiento la garita Norte de Santander, en la empresa cerámicas América S. A. donde elaboran productos a base de arcilla, los cuales son empleados en las obras civiles del oriente colombiano y el resto del país. Este horno tiene las siguientes características:

- Diámetro exterior del horno: 13 m
- Diámetro interior del horno: 11 m
- Ancho de la pared del horno: 1 m
- Altura de la pared del horno: 2.80 m
- Altura de la cúpula: 3 m
- Numero de hornillas: 12
- Altura de la chimenea: 15 m
- Alimentación de combustible: manual
- Altura interna del horno: 5.60m
- Tipo de entrada de aire: tiro natural e inyección de aire primario y secundario

- Tipo de ductos de salida de humos: anillo periférico y ducto principal

El material para cocer es arcilla, con las siguientes características después del proceso molienda y extrusión y secado artificial, ya lista para el proceso de cocción, las características de granulometría se compilan en el anexo 3.

- Densidad: 2250 kg/m^3
- Calor específico: $880 \text{ J/kg} - \text{K}$
- Conductividad térmica: $1.26 \text{ w/m} - \text{K}$
- Humedad: 5%

El diseño del horno colmena se elaboró en el paquete computacional SolidWorks a escala real con las medidas y especificaciones dadas por la empresa, una vez se obtuvo la forma deseada del horno el siguiente paso a seguir fue guardar el archivo en formato. IGES para poder importarlo a ANSYS-FLUENT.

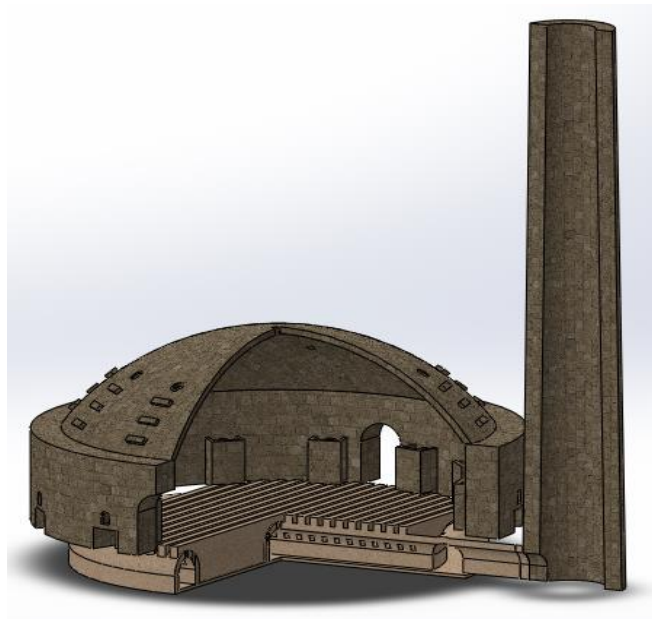


Figura 28. Geometría del horno colmena con corte de sección.

5.2 Dominio del horno a simular

Para la simulación en ANSYS-FLUENT se selecciona como geometría el dominio interno del horno que viene siendo la guía o ruta de los gases de combustión, dicha geometría se obtiene realizando una operación en SolidWorks llamada booleana, la cual consiste tomar todo el horno incluyendo túneles y chimenea como un sólido definido. En el dominio o volumen de control se señalan las condiciones de entrada y de salida de la simulación, tales como flujo másico de carbón, flujo másico de aire primario, flujo másico de aire secundario y la presión de salida de los humos en la chimenea.

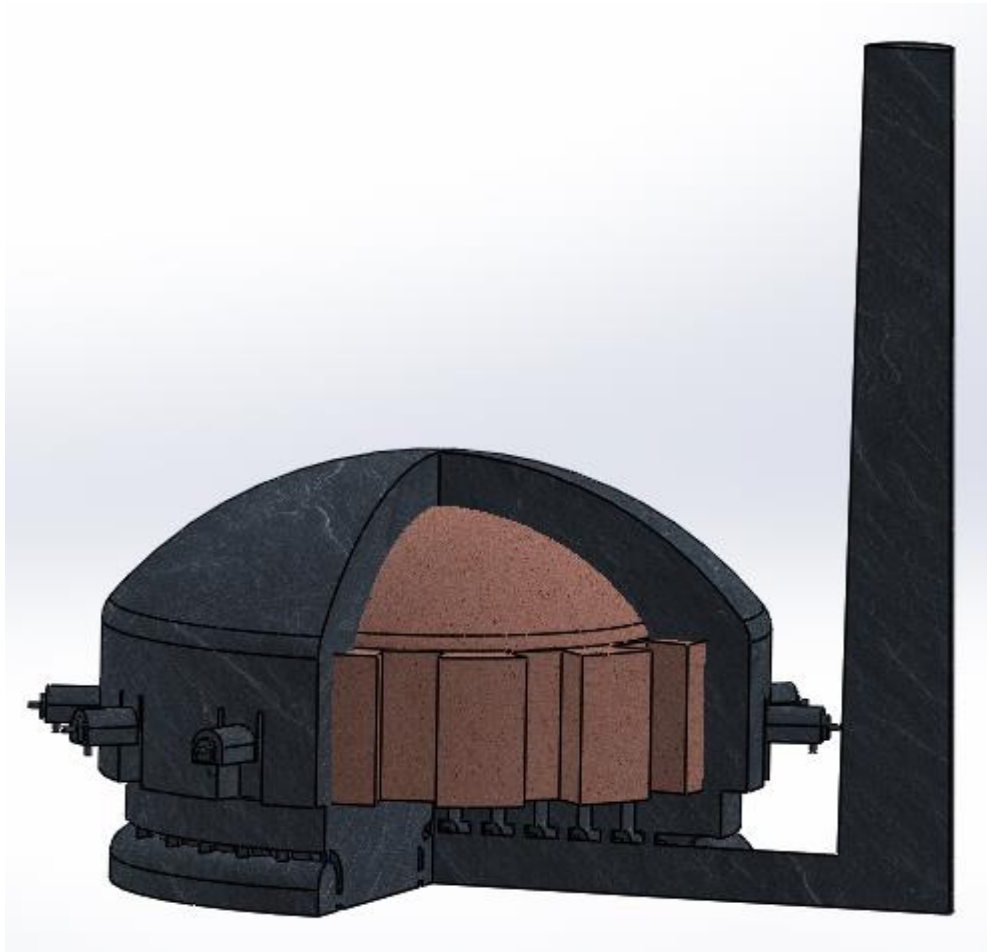


Figura 29. Dominio del horno colmena a simular.

5.3 Subdominio masa de coccion

Las cantidades de bloques y tabelones que se simulan en la etapa de cocción son 10000 tabelones y 4000 bloques para un total de 117000 kg de arcilla, el diseño elaborado para la simulación se tomó como un solo sólido, esto con el fin de aligerar el proceso de simulación, ya que se requiere de una extensa memoria computacional. Las medias de la geometría de la masa son aproximadas al conjunto real de elementos a cocinar ya que en el proceso de cargue del horno todo el volumen interno del horno es aprovechado.



Figura 30. Masa de cocción a simular.

5.3.1 Cálculo de porosidad de la masa de cocción.

La porosidad es usada en la predicción de transferencia de calor en el medio de estudio. Cuando se determina el valor de porosidad como 1 esta no tiene ningún impacto en la transferencia de calor o en la fuente térmica del medio. La porosidad es la fracción de volumen fluido dentro de la región porosa. Se puede expresar como.

$$\gamma = \frac{V_{aire}}{V_{aire} + V_{ar}} \quad (55)$$

- γ : Porosidad
- V_{aire} : Volumen vacío de aire entre tabelones y agujeros
- V_{ar} : Volumen que ocupa la arcilla

$$V_{ar} = V_t - V_u \quad (56)$$

- V_t : Volumen de los tabelones (m)
- $V_t =$ Volumen de los tabelones (m)
- $V_u =$ Volumen de los agujeros de los tabelones (m)

$$V_t = (b_t * a_t * h_t) \quad (57)$$

- b_t : Base de los tabelones (m)
- a_t : ancho de los tabelones (m)
- h_t : altura de los tabelones (m)

$$V_t = 0,8m * 0,075m * 0,2m$$

$$V_t = 0,012m^3 * 14000 \text{ unidades de tabelones}$$

$$V_t = 168,0m^3$$

$$V_u = (b_{at} * a_{at} * h_{at}) \quad (58)$$

- b_{at} : Base de los tabelones (m)
- a_{at} : ancho de los tabelones (m)
- h_{at} : altura de los tabelones (m)

$$V_u = 0,06 m * 0,06 m * 0,8 m$$

$$V_u = 2,88 * 10^{-3} * 3$$

$$V_u = 8,64 * 10^{-3} m^3 * 14000 \text{ unidades de tabelones}$$

$$V_u = 120,96 m^3$$

Reemplazando en la ecuación 2.

$$V_{ar} = 168,0 m^3 - 120,96 m^3$$

$$V_{ar} = 47,06 m^3$$

$$V_{aire} = V_u + V_{eb}$$

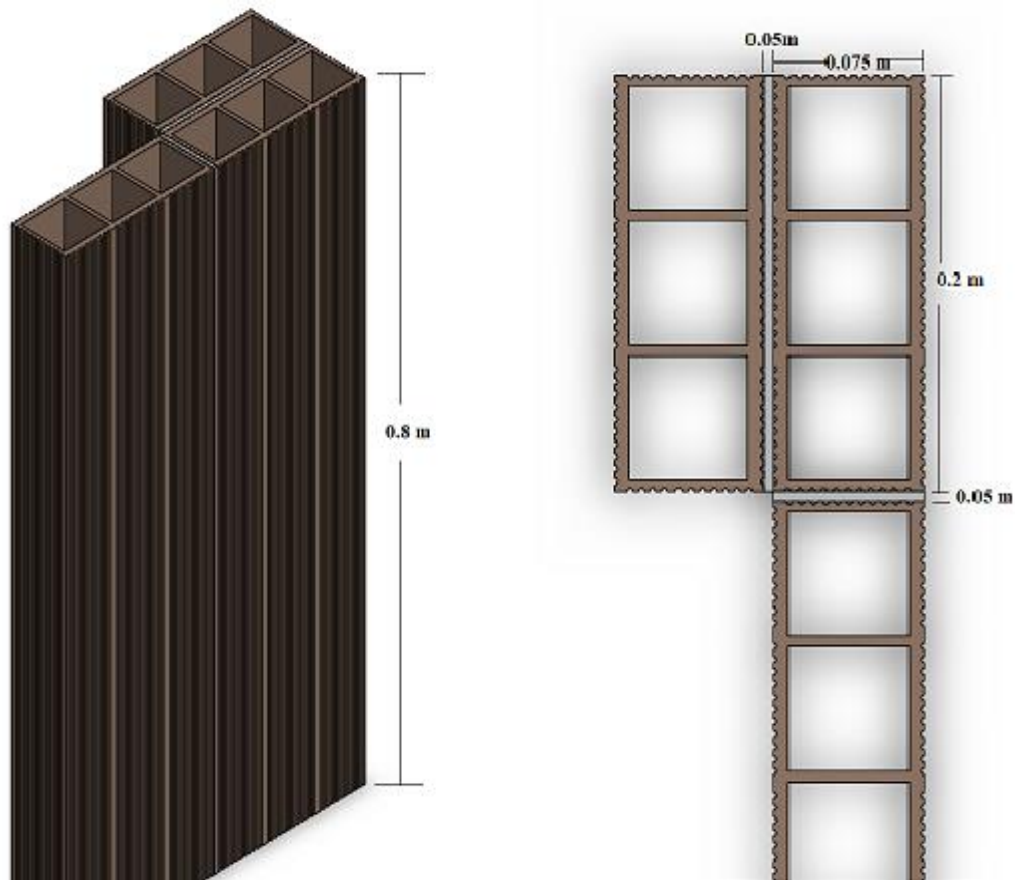


Figura 31. Medidas de los espacios de los tabelones en la cámara de cocción.

- V_{aire} : Volumen de aire
- V_{eb} : Volumen espacios entre bloques.

Para el cálculo de volumen de espacios entre bloques se puede apreciar las cotas correspondientes en la figura 31 según la colocación de los tabelones en la cámara de cocción del horno colmena.

$$V_{eb} = ((e_s * a_{c1} * h_{c1}) + (e_s * a_{c2} * h_{c2})) \quad (59)$$

- e_s : Espesor de separación entre tabelones (m)
- a_{c1}, a_{c2} : Ancho según la colocación de los tabelones (m)
- h_{c1}, h_{c2} : Altura según la colocación de los tabelones (m)

$$V_{eb} = ((0,05 * 0,075 * 0,8) + (0,05 * 0,2 * 0,8))$$

$$V_{eb} = 0,011 * 10^{-3} m^3 * 14000 \text{ unidades de tabelones}$$

$$V_{eb} = 154,0 m^3$$

Reemplazando en la ecuación 5.

$$V_{aire} = 120,96 + 154,0$$

$$274,96 m^3$$

Reemplazando en la ecuación 1.

$$\gamma = \frac{274,96}{274,96 + 47,06}$$

$$\gamma = 0,85$$

5.3.2 Cálculo de calor requerido para la cocción de la masa de arcilla.

$$V_{mc} = (V_{ci} - V_{df}) + V_c \quad (60)$$

- V_{mc} : Volumen de masa de cocción (m^3)
- V_{ci} : Volumen del cilindro de la masa de cocción (m^3)
- V_{df} : Volumen de los deflectores (m^3)
- V_c : Volumen de la cúpula de la masa de cocción (m^3)

$$V_{ci} = \pi r^2 h \quad (61)$$

- r : Radio del cilindro de la masa de cocción (m)
- h : Altura del cilindro de la masa de cocción (m)

$$V_{ci} = \pi * (5,5)^2 * 2,80$$

$$V_{ci} = 266,09 m^3$$

Una vez calculado el volumen de un deflector se multiplica por 12, que son los que tiene el horno colmena en la parte interna.

$$V_{df} = b_{df} * a_{df} * h_{df} \quad (62)$$

- b_{df} : Base del deflector (m)
- a_{df} : Ancho del deflector (m)
- h_{df} : Altura del deflector (m)

$$V_{df} = 0,90 * 0,65 * 2,80$$

$$V_{df} = 1,638 m^3$$

$$V_{df} = 19,656 m^3$$

Ahora procedemos a calcular el volumen de la cúpula de la masa de cocción.

$$V_c = \frac{1}{3} * V_{esfera} \quad (63)$$

➤ V_{esfera} : Volumen de la esfera (m)³

$$V_{esfera} : \frac{4}{3} * \pi * r^3 \quad (64)$$

➤ r : Radio de la cúpula de masa de cocción (m)

$$V_{esfera} = \frac{4}{3} * \pi * (4,75m)^3$$

$$V_{esfera} = 448,92 m^3$$

$$V_c = 149,64 m^3$$

Reemplazando en la ecuación 7.

$$V_{mc} = (266,09 - 19,656) + 149,64$$

$$V_{mc} = 396.074 m^3$$

Para conocer la masa a simular, se multiplica el volumen total por la densidad de la arcilla.

$$m_a = V_{mc} * \rho_{arcilla} \quad (65)$$

➤ m_a : Masa de la arcilla (kg)

➤ V_{mc} : Volumen de la masa de cocción (m^3)

➤ $\rho_{arcilla}$: Densidad de la arcilla (kg/m^3)

$$m_a = 396.074 * 2250$$

$$m_a = 891162 kg$$

Una vez calculada la masa de la arcilla se puede conocer el valor del calor requerido para la cocción de esa cantidad de arcilla.

$$Q_{ar} = m_a * Cp_a * \Delta T \quad (66)$$

- Q_{ar} : Calor requerido para la cocción de la arcilla (j)
- Cp_a : Calor específico de la arcilla ($j/kg * k$)
- ΔT : Delta de temperaturas (k)

$$Q_{ar} = 891162 * 880 * 1000$$

$$Q_{ar} = 7.842 * 10^{11} \text{ J}$$

La siguiente operación es dividir ese calor en el tiempo de cocción que lleva el proceso, el tiempo es de 46 horas y se pasan a segundos.

$$Q_{ar} = \frac{7.84 * 10^{11} \text{ J}}{46 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}}$$

$$Q_{arcilla} : 4.73 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{seg}}$$

Para hallar el calor requerido para la masa de cocción por unidad de volumen se divide por el volumen total de la arcilla.

$$Q_{ar} = \frac{4,73 * 10^6}{396,072}$$

$$Q_{ar} = 11942.27 \frac{\text{w}}{\text{m}^3}$$

5.4 Simulación tridimensional

Para llevar a cabo la simulación, se deben seguir una serie de pasos que conllevan a un modelo que muestre un comportamiento cercano a los fenómenos que ocurren en la práctica real de los procesos de cocción en los hornos, la serie de pasos se muestran en el siguiente esquema.

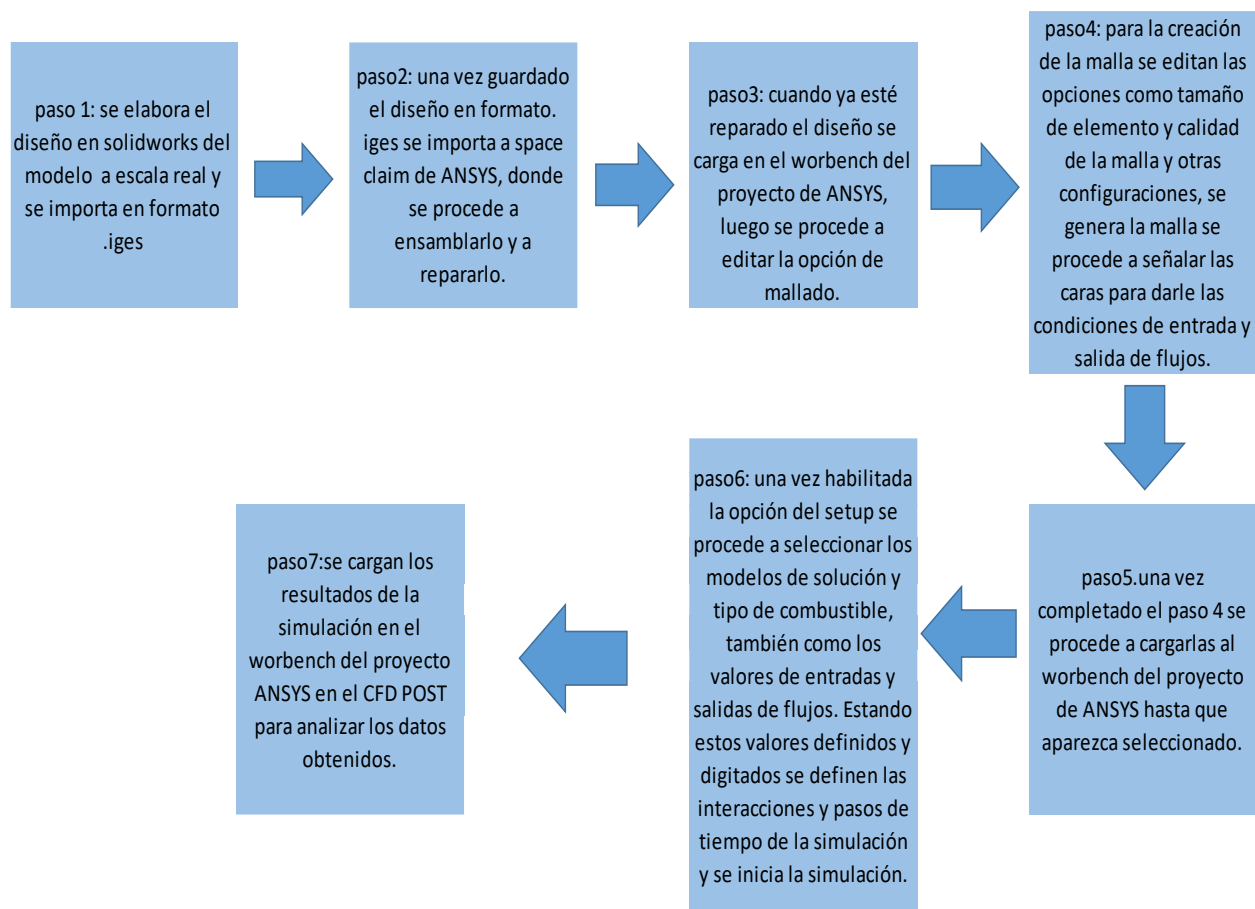


Figura 32. Pasos para realizar la simulación en ANSYS FLUENT.

5.5 Enmallado

Una vez elaborado el diseño del dominio a simular como se aprecia en la figura 33 se procede a realizar el enmallado con un tipo triangular, para proporcionar un mayor control en todas las

zonas que se piensan evaluar, teniendo en cuenta la calidad de la malla como el tamaño de cada elemento para garantizar la unión en cada nodo y así obtener mayor exactitud en la solución.

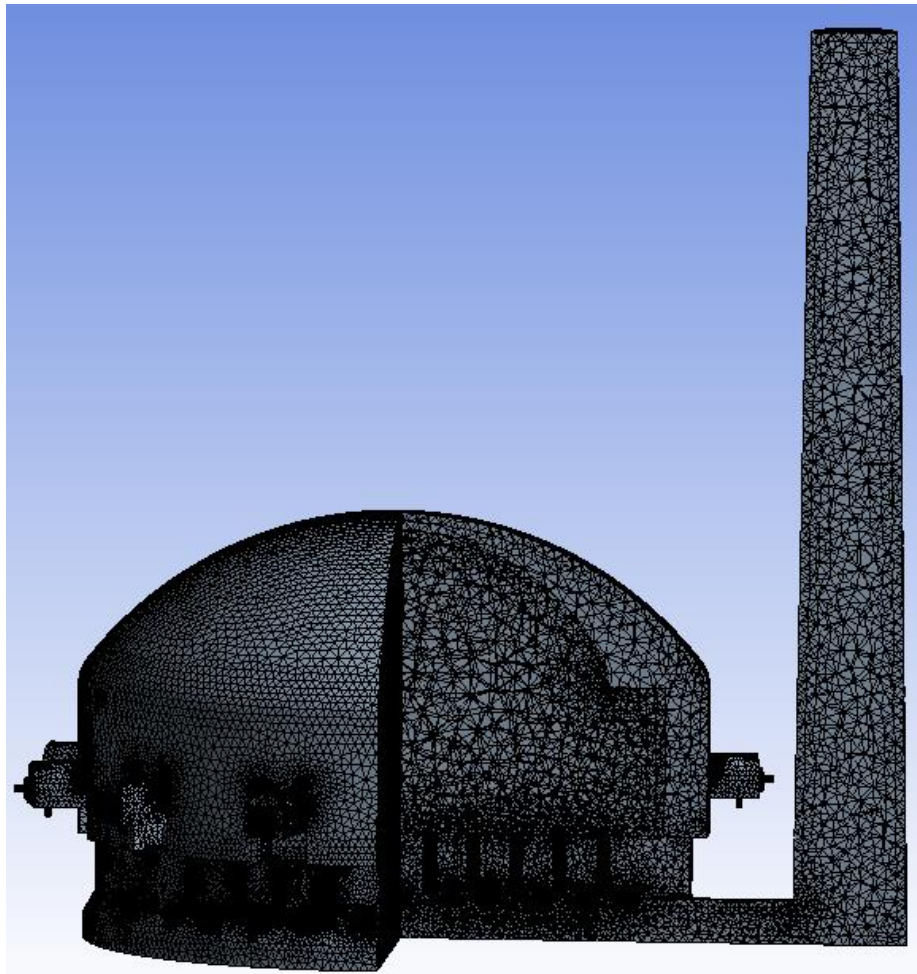


Figura 33. Enmallado del horno colmena a simular.

En los resultados mostrados en la malla se aprecian las cantidades de elementos y de nodos generados en el proceso, obteniendo un total de 4870132 nodos y 3380549 de elementos.

Teniendo en cuenta que se modificaron variables como calidad de la malla, tamaño de cada elemento y suavizado, el resto de las variables se dejan por defecto para evitar una posible

divergencia en el proceso de la simulación, los datos y variables registradas en el enmallado se muestran en la figura 34.

Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	2, e-002 m
Export Format	Standard
Export Preview Surface M...	No
Sizing	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,2)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (4, e-002 m)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (1, e-004 m)
<input checked="" type="checkbox"/> Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Min Size	Default (2, e-004 m)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18, °)
<input checked="" type="checkbox"/> Capture Proximity	Yes
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (2, e-004 m)
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	Default (3)
Proximity Size Function So...	Faces and Edges
Bounding Box Diagonal	2,5768 m
Average Surface Area	1,5455e-002 m ²
Minimum Edge Length	1, e-002 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.900000)
<input checked="" type="checkbox"/> Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Assembly Meshing	
Advanced	
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	4870132
<input type="checkbox"/> Elements	3380549

Figura 34. Parámetros para el enmallado.

Obtenida la malla correcta se procede a especificar las entradas y salidas de flujos en el dominio, señalando las caras del diseño y designándoles el correspondiente nombre. La masa se selecciona como un sólido y se designa con el nombre correspondiente, dejando solo el cuerpo como la ruta por la cual viajan los flujos de aire como de combustible, este proceso se aprecia en la siguiente figura 35.

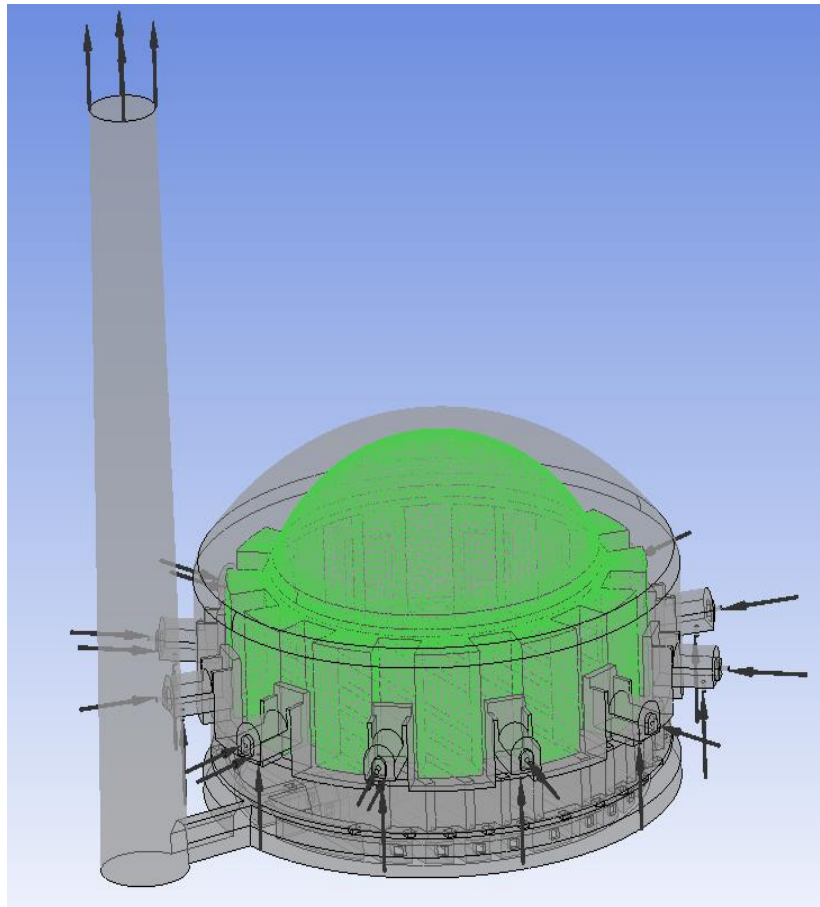


Figura 35. Condiciones de borde.

En la figura 35 se observan las entradas de los flujos, cada hornilla posee tres entradas que son de aire primario, carbón y aire secundario. son flujos necesarios para la combustión ideal en el proceso de cocción, también se puede apreciar la salida en la chimenea donde se le asigna presión cero para ayudar con el tiraje del horno, es decir para ayudar a sacar los gases de combustión.

5.6 Setup (Preparar)

En este paso se carga la malla y la geometría ya definida para especificar los modelos de operación y los valores que deben llevar las entradas de flujos anteriormente mencionadas, preparando el proyecto para iniciar las interacciones.

Inicialmente se denomina el tipo de proceso que regirá en el proceso, en este caso se evalúa en estado transitorio ya que el proceso de cocción del horno colmena no se mantiene a temperatura constante, la temperatura varía con respecto al tiempo y al ingreso del flujo másico de carbón y aire.

5.6.1 Ecuaciones teóricas base para el análisis.

Las ecuaciones necesarias para desarrollar cualquier modelo en el espacio de ANSYS-FLUENT, parten de los balances de materia y energía en los diferentes volúmenes finitos generados por el enmallado del sistema (Ballona Castro, Londoño Gallón, & Nieto Cruz, 2015), las cuales se presentan a continuación;

5.6.1.1 Ecuación de la continuidad.

$$\rho \frac{\partial V_x}{\partial x} + \rho \frac{\partial V_y}{\partial y} + \rho \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0 \quad (67)$$

5.6.1.2 Ecuación para la cantidad de movimiento o ecuación de Navier Stokes.

$$\rho \left(V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial z^2} \right] + \rho g \quad (68)$$

$$\rho \left(V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_y}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left[\frac{\partial^2 V_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial z^2} \right] + \rho g \quad (69)$$

$$\rho \left(V_x \frac{\partial V_z}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_z}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left[\frac{\partial^2 V_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2} \right] + \rho g \quad (70)$$

5.6.1.3 Ecuación de energía.

$$\rho C_p \left(V_x \frac{\partial T}{\partial X} + V_y \frac{\partial T}{\partial Y} + V_z \frac{\partial T}{\partial Z} \right) = K \left(\frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right) - r h_r \quad (71)$$

5.6.1.4 Ecuación de componente.

$$\rho \left(V_x \frac{\partial \omega_a}{\partial X} + V_y \frac{\partial \omega_a}{\partial Y} + V_z \frac{\partial \omega_a}{\partial Z} \right) = \rho D_{aB} \left(\frac{\partial^2 \omega_a}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 \omega_a}{\partial Z^2} \right) - r_a \quad (72)$$

5.6.2 Modelo K- ω -SST.

El modelo SST o Shear Stress Transport, fue diseñado para sobreponerse a las deficiencias de los otros modelos de dos ecuaciones. es un modelo que resulta tener características combinadas de los modelos $K - \varepsilon$ y $K - \omega$ para diferentes partes del flujo. en capa limite interna se desarrolla mediante $K - \omega$ mientras que en la región fuera de la capa limite se maneja como $K - \varepsilon$ (Ballona Castro, Londoño Gallón, & Nieto Cruz, 2015).

De acuerdo con (cita), el modelo SST tuvo una buena aceptación desde su implementación, para análisis aerodinámicos y de dinámica de fluidos en general. También comenta que las ecuaciones con el termino ω encajan muy bien en transiciones de flujo laminar a flujo turbulento.

5.6.3 Radiación P1.

La radiación es la energía emitida por la materia en la forma de ondas electromagnéticas (o fotones), como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de energía por

radiación no requiere la presencia de un medio interpuesto. De hecho, la transferencia de energía por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre la atenuación en el vacío. De esta manera llega a la Tierra la energía del Sol. En nuestro estudio es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. Es diferente de las otras formas de radiación, como los rayos x, los rayos gamma, las microondas, las ondas de radio y de televisión, que no están relacionadas con la temperatura (Leonidivna Naidiuk & Torres Jara, 2018). Todos los cuerpos a una temperatura arriba del cero absoluto emiten radiación térmica, la ecuación para el cálculo de la radiación es:

$$\frac{dl_{\lambda}}{ds} = \varepsilon * l_{b\lambda} - (K_a + K_s) * l_{\lambda} + \frac{K_s}{4\pi} \int_{4\pi}^0 l_{\lambda}(S_i) * \Phi_{\lambda}(S_i, S) * d\Omega_i \quad (73)$$

- K_a : Coeficiente de absorción espectral.
- K_s : Coeficiente de dispersión.
- ε : Emisividad espectral.
- $l_{b\lambda}$: Es la función de Planck, describe la intensidad de irradiación de cuerpo negro
- l_{λ} : Intensidad de la radiación espectral que depende de la posición(r) y dirección (s)
- Φ_{λ} : Función dispersión de fase.
- Ω : Angulo solido

5.6.3.1 Características de modelo de radiación P1.

- Descripción: se resuelve una ecuación de transporte adicional.
- Hipótesis: Intensidad de radiación es isótropa o la dirección es independiente de la posición en el espacio.
- Método: a la ecuación de energía se añade un término de difusión.

- Limitaciones: Sólo es válido para el espesor óptico/ profundidad mayor que 1. No es válido para las paredes transparentes. Las necesidades de condiciones de contorno en todas las superficies externas
- Beneficios: Válido para las superficies no-negro, las propiedades no constantes, la dispersión anisotrópica, y cerca de las paredes
- Ejemplos: las llamas de combustible pulverizado (en las regiones fuera de las inmediaciones de la llama).

5.6.4 Especies, modelo no premezclado.

Este modelo se caracteriza por modelar el proceso de combustión a partir de las reacciones oxido-reducción de los compuestos de las mezclas de combustible y oxidante, así como a los residuos de dichas reacciones como el H₂O, y el CO₂ y sobre todo por manipular los flujos de oxidante y combustible mediante dos corrientes de entrada distintas a diferencia de los sistemas premezclados donde la mezcla molecular se realiza antes de la combustión. Esto permite que toda la termoquímica del sistema se reduzca a fracciones de mezcla, las cuales siempre son conservativas por lo que se puede llegar a la conclusión de modelar la química como un sistema en equilibrio químico o de un ligero desequilibrio (Ballona Castro, Londoño Gallón, & Nieto Cruz, 2015). Las propiedades del carbón son cargadas por medio de un pdf del catálogo de materiales que posee el paquete computacional ANSYS-FLUENT y son usadas en el proceso de la simulación de la combustión.

5.6.5 Materiales.

Crear y asignar las propiedades de los distintos materiales de la masa de cocción y el material del dominio. El programa permite elegir entre materiales sólidos y fluidos; por defecto los

materiales proporcionados son aire y aluminio, al segundo material se debe cambiar las propiedades por las del vidrio, madera, concreto, etc. Para este caso realizar la configuración de las propiedades de la masa de cocción que es arcilla. Las propiedades que se cambian son densidad, calor específico, conductividad térmica.

5.6.6 Condiciones de frontera.

Establecer las condiciones de frontera de la masa de cocción y del dominio especificando el tipo de zona, para estos casos se establecen como fluido respectivamente. En las propiedades de la masa se le asigna porosidad ya calculada en el apartado 2.3.1 y se aplica el material ya definido anteriormente, también el calor requerido para la cocción de ese volumen de arcilla calculados anteriormente.

5.6.7 Condiciones de borde.

Definir las condiciones de borde para las entradas y salidas de flujos másicos del horno, estos valores son calculados en base al consumo total de carbón durante el proceso de cocción y dependiendo del poder calorífico del carbón que se encuentra en el anexo 2, para el cálculo del aire teórico que requiere la combustión. Se debe definir el tipo de condición de borde que se piensa ingresar, para este estudio se definieron como flujos másicos de entrada para el carbón, aire primario y aire secundario.

5.6.7.1 Cálculo de flujo de aire primario y secundario.

En la práctica para lograr una mejor mezcla entre el aire y el combustible y procurar obtener una combustión óptima se suministra una cantidad de aire adicional con respecto a la teórica requerida; debido a que el 79% del aire es N₂, que es inerte a la combustión, por lo

tanto afecta el tamaño de las instalaciones, la potencia de los equipos que introducen el aire y manejan los humos producidos y el calor disponible para el proceso debido al calor arrastrado por los humos (Vera Duarte, 2016). La cantidad de aire en exceso debe controlarse para mejorar la eficiencia del proceso, por esto debe estar entre ciertos valores recomendados, este aire en exceso depende de:

- El tipo de combustible; ya que los combustibles gaseosos se mezclan más íntimamente con el aire y por consiguiente requieren menos aire en exceso.
- El tipo de horno o quemador usado, ya que según su disposición y diseño se logran diferentes tipos de mezclas.

$$A_p = \left(\frac{1,01}{1000} \right) * HI \frac{kcal}{kg} + 0,55 \quad (74)$$

➤ A_p : Aire primario m^3/seg

➤ HI : Poder calorífico del carbón $kcal/kg$

$$A_p = \left(\frac{1,01}{1000} \right) * 8071 \frac{kcal}{kg} + 0,55$$

$$A_p = 8,70171 \frac{m^3}{kg \text{ comb}} * 16500$$

$$A_p = \frac{143578,215}{46 \text{ h}} = 3121,27 \frac{m^3}{h} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}}$$

$$A_p = 0,8670 \frac{m^3}{seg}$$

$$A_p = 0,8670 \frac{m^3}{seg} \text{ trabajando con un margen de error } 30\%$$

$$A_p = 0,6069 \frac{m^3}{seg}$$

El horno de la empresa cuenta con 12 hornillas de las cuales tendrán entrada de aire primario y secundario por lo tanto se divide el valor de aire teórico entre la cantidad de hornillas

$$A_p = \frac{0,6069}{12}$$

$$A_p = 0,050575 \frac{m^3}{seg}$$

El aire secundario para cada hornilla se calcula de la siguiente ecuación:

Donde el factor de aire (λ) se toma de la tabla de factores de aire recomendados en el capítulo de balance energético.

$$A_{secundario} = A_p * \lambda - A_p \quad (75)$$

- A_s : Aire secundario (m^3/seg)
- λ : Factor de aire
- A_p : Aire primario (m^3/seg)

$$A_{secundario} = 0,050575 * 1,2 - 0,050575$$

$$A_{secundario} = 0,010115 \frac{m^3}{seg}$$

5.6.7.2 Cálculo de flujo de carbón.

Para la solución de este cálculo se tomó la totalidad de carbón consumido y se dividió en el tiempo total que dura el proceso de cocción y dividir el resultado entre 12 hornillas para definir cuanto flujo debe ser suministrado en cada condición de borde.

$$F_c = \frac{m_c}{c_h} \quad (76)$$

- F_c : Flujo de carbón

- m_c : Masa de carbón (kg)
- c_h : Cantidad de horas en el proceso de cocción

$$F_c = \frac{16500 \text{ kg}}{46 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}}$$

$$F_c = 0.09963 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}$$

5.7 Resultados obtenidos

En los resultados obtenidos para una simulación tipo transitoria, se observa la distribución de temperaturas dentro del horno con una masa de cocción alta y una masa de cocción baja, se aprecia como la altura de la carga del material afecta la línea de flujos.

En la fig. 36 se logra apreciar que el comportamiento de las líneas de flujo de gases y humos producidos por la combustión no logran llegar hasta el punto más alto de la cámara de cocción del horno, esto producto del limitado espacio entre el producto a cocer y las paredes internas del horno, generando problemas de recirculación de gases sobre los deflectores y recalentando los productos en esas zonas.

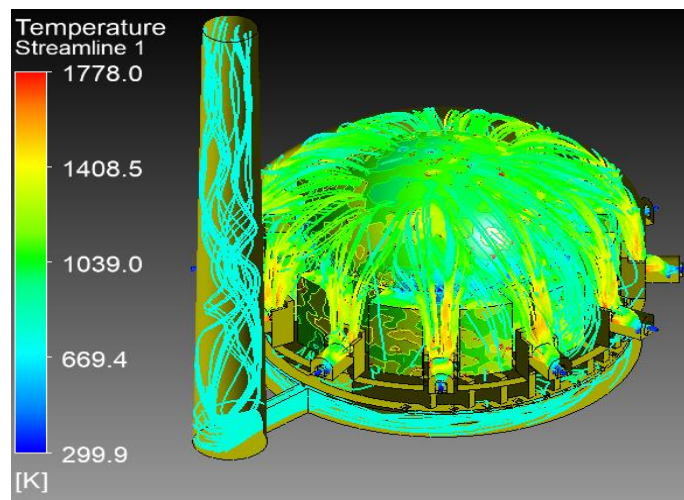


Figura 36. Distribución de temperaturas masa alta.

En la fig. 37 se observa el comportamiento de las líneas de flujo de gases y humos producto de la combustión del horno y en la cual se le hicieron dos modificaciones al diseño de las cámaras de combustión en comparación a la de la fig. 36. las modificaciones consisten en elevar la altura de los deflectores 20 cm más ya que estaban inicialmente en 1.40 m. En la simulación se logra apreciar que esta altura permite llegar a los gases y humos de combustión hacia la parte más alta de la cúpula o la cámara de cocción evitando también el recalentamiento de los productos ubicados al frente de cada deflector, la segunda modificación consiste en dejar un espacio de 30-40 cm entre el producto a procesar y las paredes internas del horno, esta modificación permite un flujo normal y más fluido de los gases y humos logrando que las temperaturas en el producto sean más homogéneas y los productos no sufran de fracturas y fisuras.

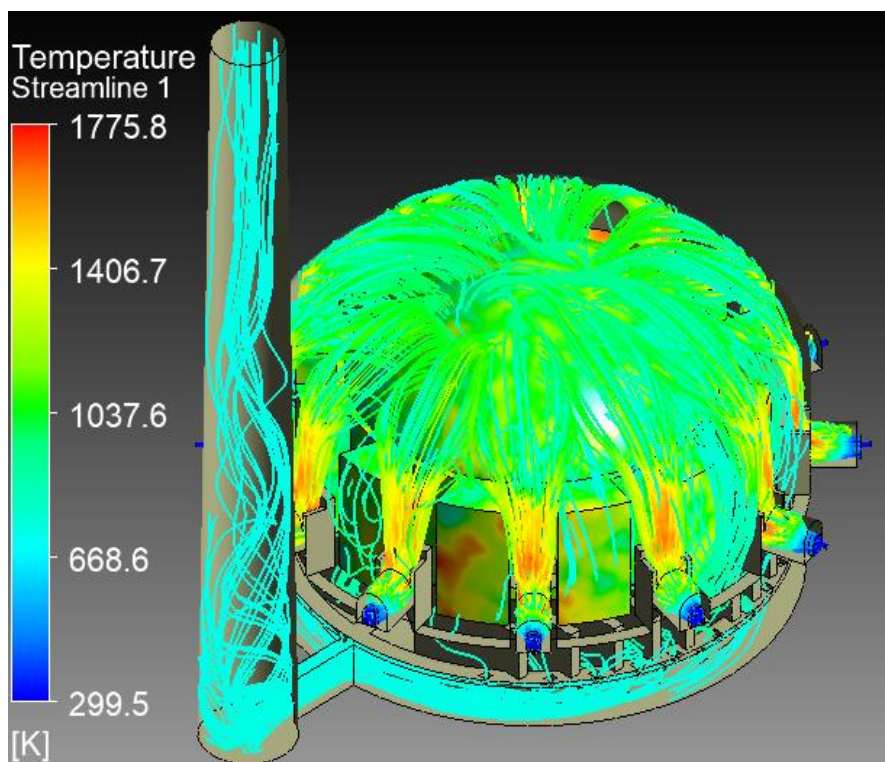


Figura 37. Distribución de temperaturas masa baja.

En la figura 38 y 39, se muestran las líneas de flujo de velocidad dentro de la cámara de cocción, se aprecia a la entrada de la chimenea las velocidades más altas causando turbulencia y en algunas zonas recirculación en los flujos.

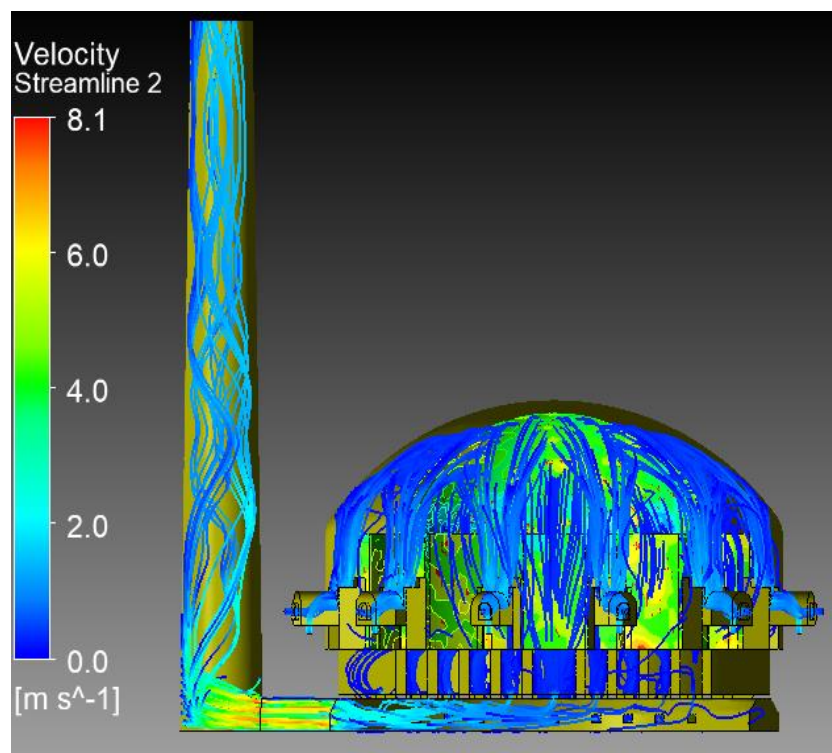


Figura 38. Líneas de flujo de velocidad dentro de la cámara de cocción masa alta.

El comportamiento de las líneas de velocidad de gases y humos demuestran que solo la mitad de los túneles del horno están cumpliendo su función de evacuar dichos gases, esto sucede debido a la ubicación del túnel que comunica con la chimenea ya que se encuentra tangente al diámetro del túnel circular. Una posible solución a este problema sería ubicar la salida de humos en el centro del túnel circular para que su extracción sea más homogénea y eficiente evitando que se produzca recirculación en los túneles y la sofocación del horno.

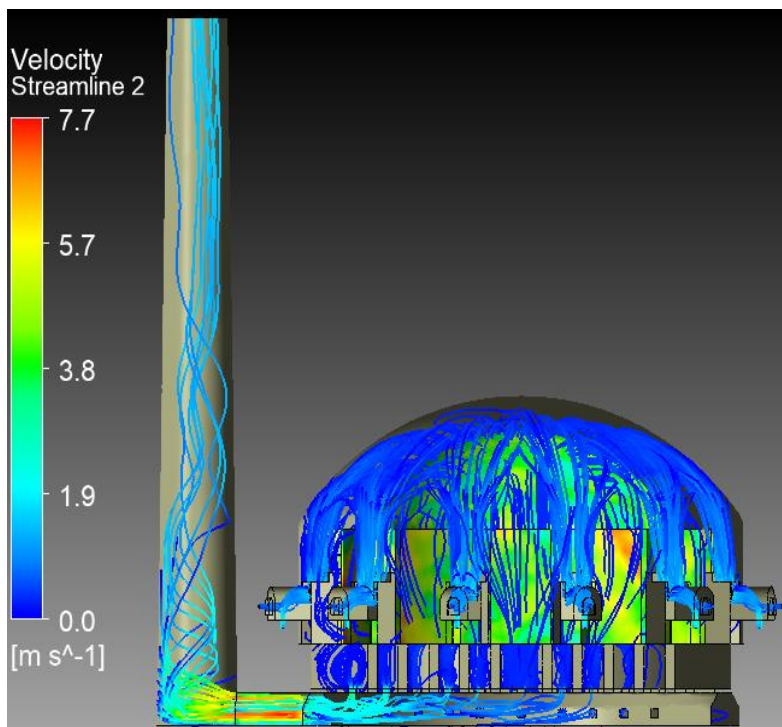


Figura 39. Líneas de flujo de velocidad dentro de la cámara de cocción masa baja.

En la figura 40 y 41, se aprecia las líneas de flujo de presión dentro de la cámara de cocción, el tiraje de la chimenea obliga a los gases a salir por la parte inferior del horno atravesando la carga de arriba hacia abajo (debido a esto son llamados hornos de llama invertida).

En el análisis de resultados de la figura 40 se puede apreciar que una distribución del material a cocer muy elevada o cercana a las paredes del horno afecta el tiraje de la chimenea ya que se produce recirculación de los gases dentro del horno, en esta figura se puede apreciar este fenómeno ya que la chimenea con una masa de cocción alta arroja presiones positivas lo cual afecta el tiraje de la chimenea y no es efectiva la salida de gases de combustión, causando manchas en los productos y mala distribución de temperaturas dentro de la cámara de cocción del horno colmena

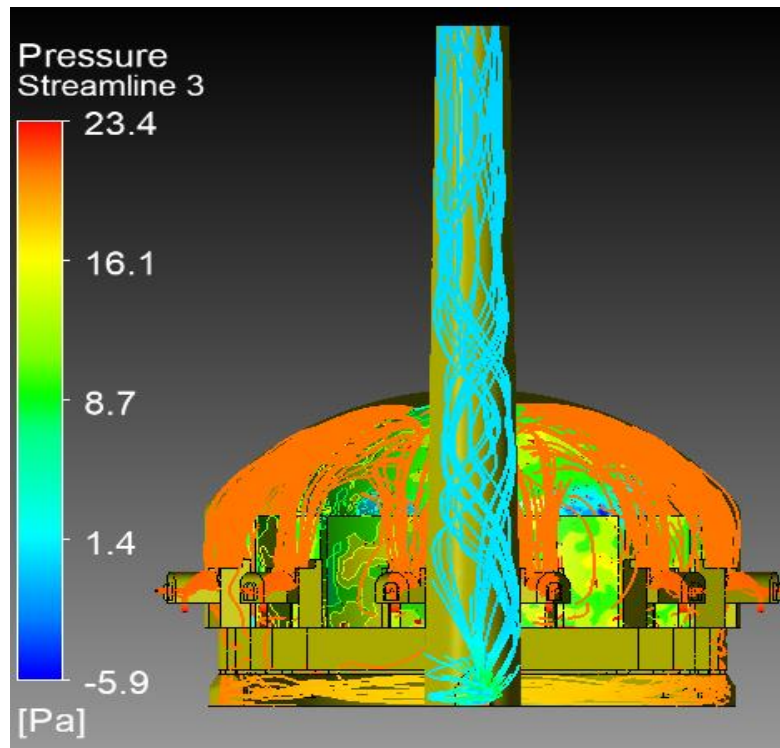


Figura 40. Líneas de flujo de presión dentro de la cámara de cocción masa alta.

Al realizar las modificaciones anteriormente mencionadas el horno presenta un mayor tiraje en la chimenea a causa de una mejor distribución de flujos de gases de combustión dentro del horno, obteniendo resultados gratificantes en la zona de chimenea con presiones negativas, Además, esta modificación repercute en obtener productos de mayor homogeneidad contribuyendo en grandes ganancias para la empresa el momento de vender sus productos.

La empresa cerámicas América S.A actualmente está en búsqueda de aumentar la eficiencia energética de sus hornos, el análisis de las presiones en la zona de chimenea conlleva a considerar la modificación de la altura de chimenea de 15 metros de altura a 17 metros y cambiar la ubicación previamente explicado.

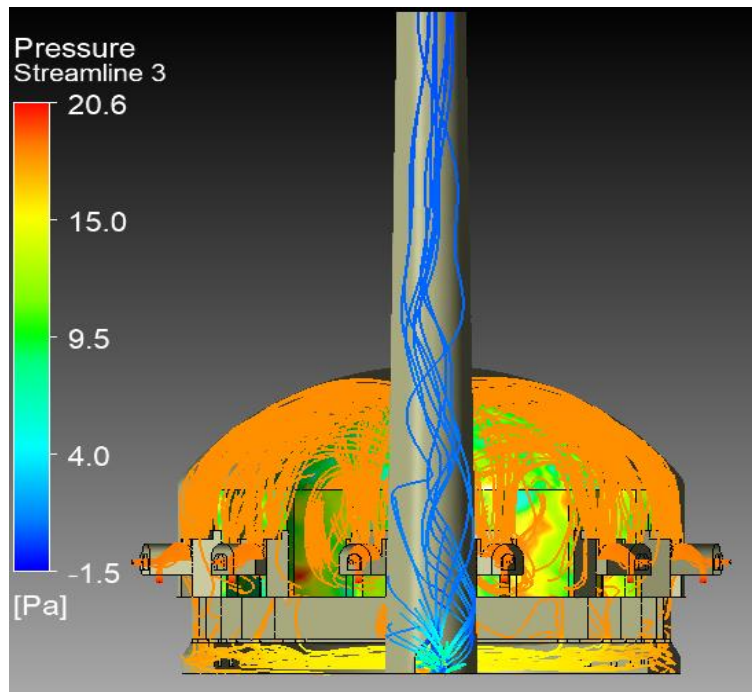


Figura 41. Líneas de flujo de presión dentro de la cámara de cocción masa baja.

En la figura 42 y 43, se observa un contorno con la distribución de temperaturas para las dos simulaciones que se llevaron a cabo con la variación de la altura de la masa de cocción.

En la figura 42 se analiza la distribución de temperaturas de la masa cocción alta, se puede apreciar el problema que se logró evidenciar en la recolección de datos debido al poco espacio que tiene el material con las paredes del horno, en la zona de las brameras ubicadas en la cúpula se registró las temperaturas más elevadas esto es debido a que los gases de combustión no alcanzan a subir hasta la punta de la cúpula y bajar por los huecos y espacios de los bloques y tabelones causando des homogeneidad en los colores de los productos.

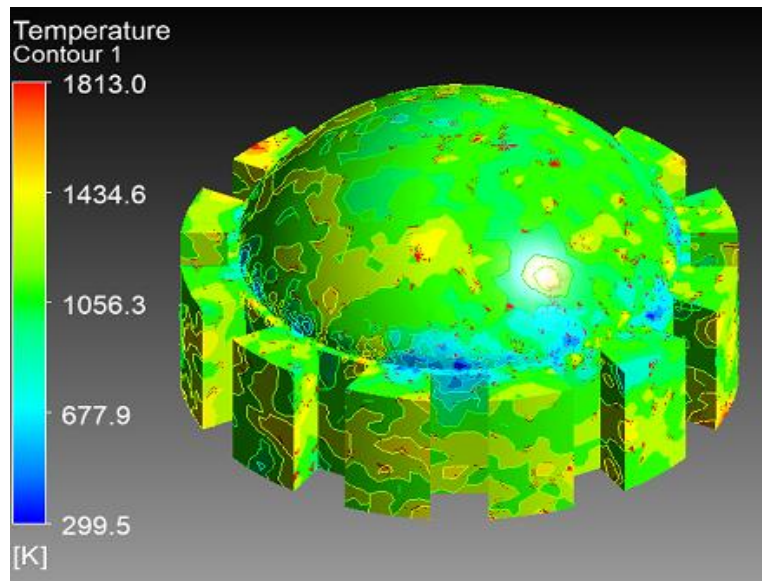


Figura 42. Distribución de temperaturas masa cocción alta.

El efecto de medio poroso en la simulación del horno en ANSYS fluent es de gran importancia ya que su finalidad es disminuir la complejidad al enmallar y resolver la carga de material dentro del horno, esta se toma como un subdominio, que se trata como medio poroso.

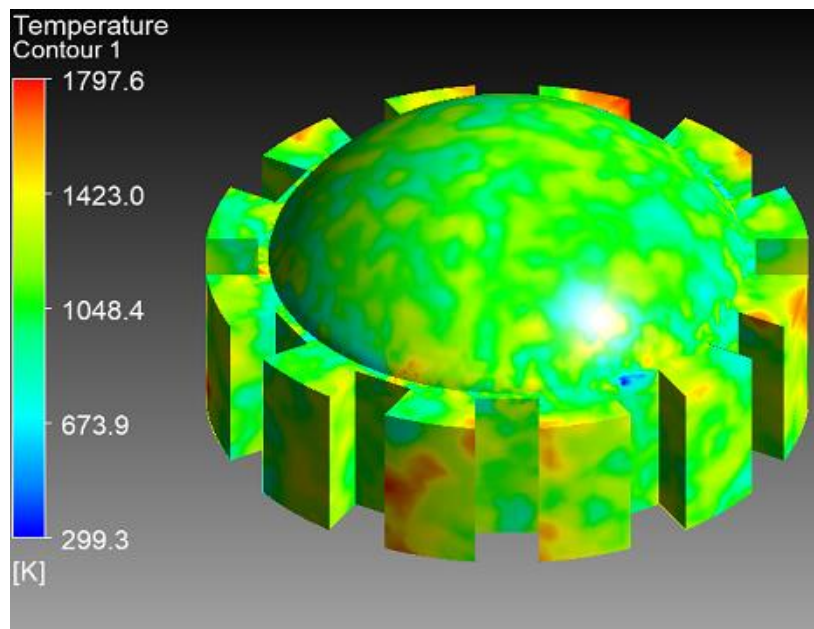


Figura 43. Distribución de temperaturas masa cocción baja.

Saber distribuir el material a cocer dentro del horno es de gran importancia, ya que se deben dejar unos espacios entre los productos y las paredes del horno de aproximadamente 30-40 cms para que los gases de combustión puedan subir por las paredes y el techo del horno y salir por la chimenea gracias a su tiraje, esto se puede observar en la figura 43 obteniendo una mejor distribución de temperaturas, además, aumentando la eficiencia del proceso al obtener menos productos con grietas o fisuras a causa de las altas temperaturas.

En la figura 44 y 45, se observa la distribución de temperaturas en el plano XZ, con una temperatura máxima de 1513,4 y 1598,8 kelvin respectivamente.

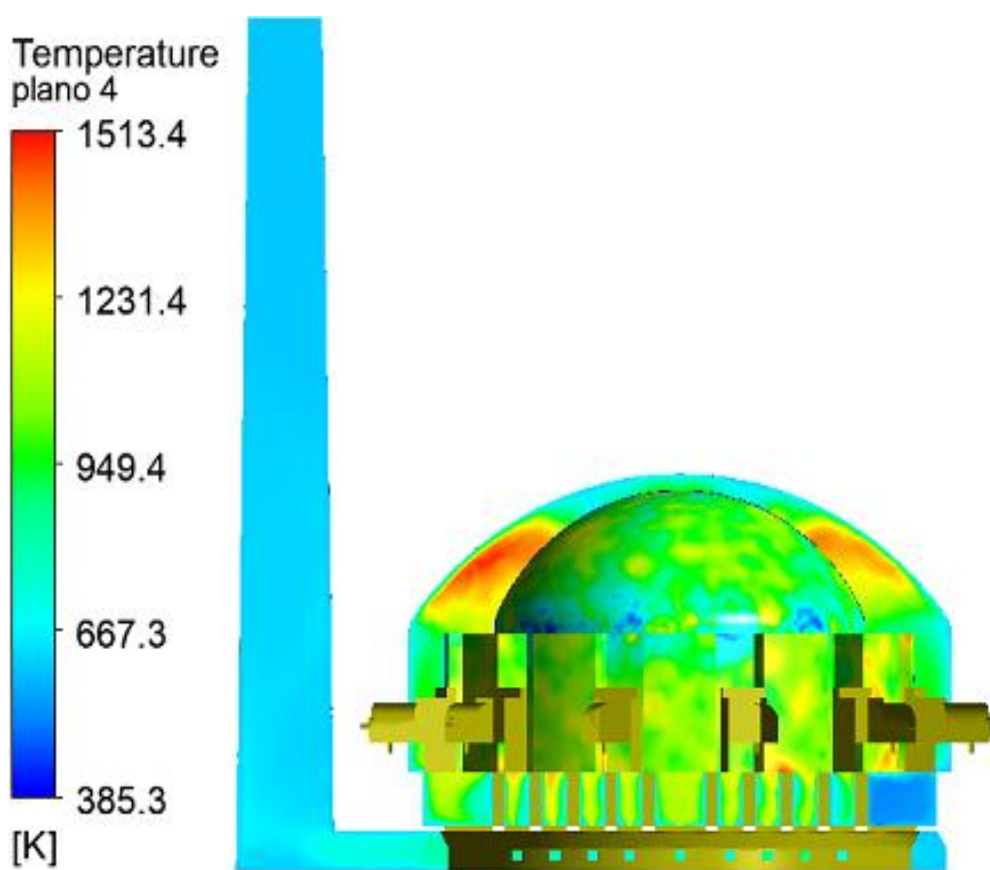


Figura 44. Distribución de temperaturas plano XZ masa alta.

Al realizar un corte en el plano de XZ en el contorno y con la variable de estudio en este caso que es la temperatura se hace mención a la comparación de la altura de la masa de cocción y como es el comportamiento en ciertas zonas de la distribución de temperatura ,la fig. 44 la cual es la de masa de cocción alta que es la manera como la empresa hace el cargue del horno, presenta unas zonas elevadas de temperaturas ubicadas en las brameras o respiraderos del horno esto es debido al limitado espacio que tienen los flujos de gases de combustión y obligándolos a presentar recirculación y turbulencia afectando el material ubicado en esa zona que tiende a sufrir de recalentamiento.

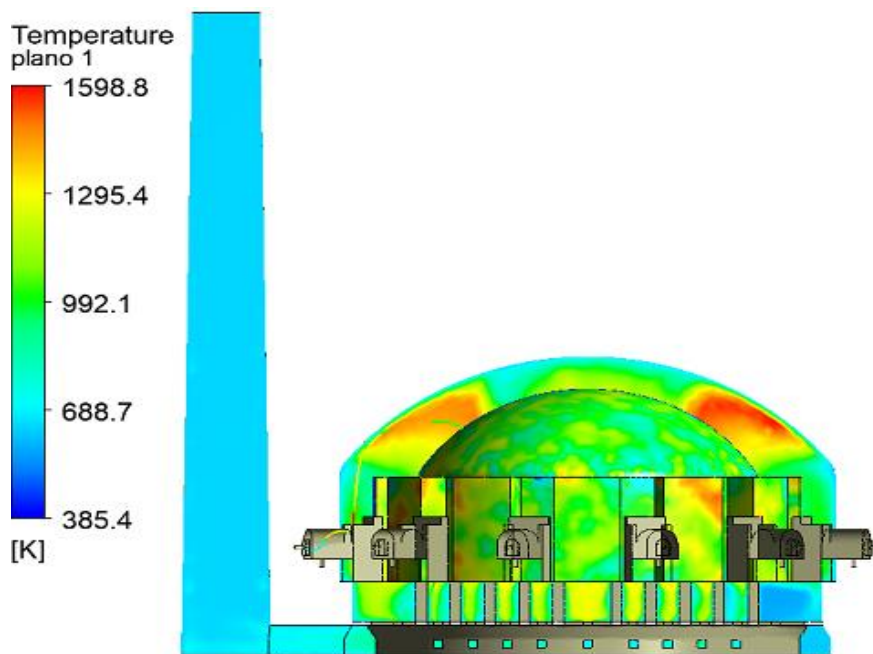


Figura 45. Distribución de temperaturas plano XZ masa baja.

Mientras que, en la manera planteada por los autores de este proyecto, la cual consiste de varias modificaciones como el espacio entre la masa de cocción y las paredes internas del horno y la altura de deflectores, presenta resultados más aceptables y una mejora en la distribución de

temperaturas en la masa de cocción, estos cambios garantizarían que los productos salgan más uniformes y un menor número productos defectuosos.

6. Sistema de inyección de aire

Para la combustión, además de los combustibles se requiere el elemento oxidante o comburente; este es el oxígeno, en la práctica no se usa puro, por disponibilidad se toma del aire atmosférico. El aire contiene otros elementos en gran cantidad como el nitrógeno que no contribuye a la combustión, pero que arrastran parte del calor desprendido en el proceso (Vera Duarte, 2016).

en el proceso de cocción de los hornos colmena de la empresa cerámicas América S. se utiliza suministro carbón manual para el proceso de quema, la entrada de aire es por tiro natural de la chimenea debido a las presiones negativas que esta genera, en base a los humos que salen por chimenea se puede llegar a una conclusión visual de que la combustión es incompleta y por ende se realizan los cálculos y diseño del sistema de inyección para el suministro adecuado de aire que necesita el carbón mineral para obtener una mejor combustión.

El Carbón consumido durante el proceso de cocción fue de 16500 kg, para los cálculos se utilizará el análisis último realizado por la empresa en el laboratorio SGS de la ciudad de Cúcuta, norte de Santander, obteniendo un poder calorífico de 8071 *kcal/kg*.

6.1 Aire necesario en la combustión

Para conocer la cantidad necesaria de aire en el proceso de cocción de los hornos colmena se utiliza la ecuación de aire teórico para sólidos combustibles del autor (Vera Duarte, 2016).

$$A_{ov} = \left(\frac{1,01}{1000} \right) * HI \frac{kcal}{kg} + 0,55 \quad (77)$$

➤ A_{ov} : Aire teórico en volumen (m^3)

➤ *HI*: Poder calorífico (*kcal/kg*)

$$A_{ov} = \left(\frac{1,01}{1000} \right) * 8071 \frac{kcal}{kg} + 0,55$$

$$A_{ov} = 8,70171 \frac{m^3}{kg comb} * 16500$$

$$A_{ov} = \frac{143578,215}{46 h} = 3121,27 \frac{m^3}{h} * \frac{1h}{3600 seg}$$

$$A_{ov} = 0,8670 \frac{m^3}{seg}$$

Se trabaja con un margen de error del 30% en la ecuación 77, ya que en la formula solo se tiene en cuenta el poder calorífico del carbón. En el sistema se utilizó dos ventiladores para cumplir con las necesidades de aire en el proceso de cocción, además, cada uno de los ventiladores maneja 6 hornillas teniendo como salidas del ventilador dos ramales principales como se puede observar en la figura 1.

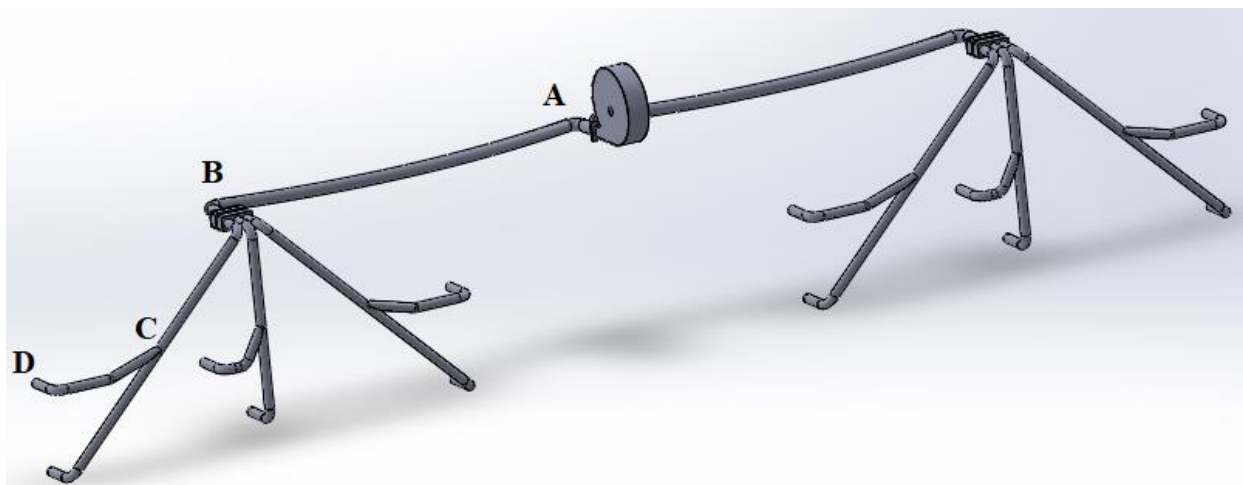


Figura 46. Sistema de inyección de aire.

$$A_{ov} = 0,8670 \frac{m^3}{seg} \text{ trabajando con un margen de error } 30\%$$

$$A_{ov} = 0,6069 \frac{m^3}{seg}$$

El horno de la empresa cuenta con 12 hornillas de las cuales tendrán entrada de aire primario y secundario por lo tanto se divide el valor de aire teórico entre la cantidad de hornillas

$$A_{ov} = \frac{0,6069}{12}$$

$$A_{ov} = 0,050575 \frac{m^3}{seg}$$

El aire secundario para cada salida se calcula por la siguiente ecuación.

$$A_{secundario} = A_{ov} * \lambda - A_{ov} \quad (78)$$

- $A_{secundario}$: Aire secundario (m^3/seg)
- λ : Factor de aire (unidimensional)
- $A_{rv} =$ Aire real (m^3/seg)

$$A_{secundario} = 0,050575 * 1,5 - 0,050575$$

$$A_{secundario} = 0,0253 \frac{m^3}{seg}$$

De la tabla 7, factores de aire recomendado para carbón suministrado manualmente se utiliza un factor de aire $\lambda = 1,5$.

$$A_{rv} = A_{ov} * \lambda \quad (79)$$

$$A_{rv} = 0,8670 \frac{m^3}{seg} * 1,5$$

$$A_{rv} = 1,3005 \frac{m^3}{seg} \text{ trabajando con un margen de error } 30\%$$

$$A_{rv} = 0,91035 \frac{m^3}{seg}$$

El caudal real se maneja con dos ventiladores, cada uno de ellos maneja dos ductos principales y tres ramales que entran a cada una de las hornillas y ceniceros que tiene el horno colmena de la empresa cerámicas América S.A como se puede ver en la figura 46.

$$A_{rv} = 0,2275 \frac{m^3}{seg}$$

6.2 Velocidad de los ductos

Una vez obtenido el valor real de caudal de aire y seleccionando los diámetros que se van a utilizar en el sistema de inyección para el ducto principal y ramales, se calcula la velocidad utilizando la ecuación de continuidad.

$$Q = V * A \quad (80)$$

- $Q =$ Caudal m^3/seg
- $V =$ Velocidad m/seg
- $A =$ Área m^2

6.2.1 Velocidad sección AB.

Seleccionando un diámetro de 4 pulgadas para el ducto principal de la sección AB como se puede apreciar en la figura 46 y utilizando el valor de caudal real previamente calculado se procede a calcular la velocidad.

$$V = \frac{0,2275 \text{ m}^3/seg}{\frac{\pi}{4} * 0,1016 \text{ m}^2}$$

$$V = 28,06 \text{ m/s}$$

6.2.2 Velocidad sección BC.

Seleccionando un diámetro de 2 pulgadas para los ramales de la sección BC como se puede apreciar en la figura 46 y se procede a calcular la velocidad de la sección.

$$V = \frac{0,07583 \text{ m}^3/\text{seg}}{\frac{\pi}{4} * 0,0508 \text{ m}^2}$$

$$V = 37,4 \text{ m/s}$$

6.2.3 Velocidad sección CD.

Seleccionando un diámetro de 2 pulgadas para los ramales de la sección CD que se aprecian después de la y simétrica como se puede apreciar en la figura 46, tomando los valores de aire teórico y aire en exceso previamente calculados se procede a calcular la velocidad de la sección.

$$V = \frac{0,050575 \text{ m}^3/\text{seg}}{\frac{\pi}{4} * 0,0508 \text{ m}^2}$$

$$V = 24,95 \text{ m/s}$$

6.3 Perdidas por tuberías.

La ecuación de Darcy se utiliza para calcular la pérdida de energía debido a la fricción en secciones rectilíneas y largas de tubos redondos.

$$hf = f * \frac{l}{D} * \frac{V^2}{2g} * \rho_{aire} * g \quad (81)$$

- hf = Pérdida de energía debido a la fricción (pa)
- l = Longitud del corriente flujo (m)

- D = Diámetro de la tubería (m)
- V = Velocidad de flujo (m/seg)
- f = Factor de fricción (adimensional)
- ρ_{aire} = Densidad del aire (kg/m^3)
- g = Gravedad (m/seg^2)

El número de Reynolds es la relación de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido a la fuerza viscosa y se utiliza como un medio para predecir el tipo de flujo (laminar o turbulento) sin tener que observarlo en realidad.

$$NR = \frac{VD\rho}{\eta} = \frac{VD}{\nu} \quad (82)$$

- N_R = Numero de Reynolds (adimensional)
- V = Velocidad (m/seg)
- D = Diámetro (m)
- ρ = Densidad (kg/m^3)
- η = Viscosidad dinámica ($pa.s$)
- ν = Viscosidad cinemática m^2/seg

La ecuación 83, permite el cálculo directo del valor de fricción para flujo turbulento, la desarrollaron P.K. Swamee y A.K.Jain.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 * D/E} + \frac{5,74}{NR^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (83)$$

- f = Factor fricción (adimensional)
- D/E = Relación entre diámetro y rugosidad del material (adimensional)

➤ N_R = Numero de Reynolds (adimensional)

6.3.1 Pérdida por tuberías en las secciones AB,BC,CD.

Para conocer el valor de fricción inicialmente tenemos que conocer el valor de numero de Reynolds y la relación entre el diámetro de la tubería y la rugosidad del material, posteriormente procedemos con el cálculo pérdida de energía en cada una de las secciones

6.3.1.1 Tubería sección AB.

Reemplazando en la ecuación 82

$$NR = \frac{28,06 \frac{m}{seg} * 0,1016 m}{1,79 * 10^{-5} \frac{m^2}{seg}}$$

$$NR = 159267,933$$

$$\frac{D}{E} = \frac{0,1016 m}{1,2 * 10^{-4} m} = 846,6$$

Utilizando los valores anteriormente calculados procedemos con el cálculo de factor fricción para la sección AB.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 * 846,6} + \frac{5,74}{159267,933^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,02217$$

Reemplazando en la ecuación 81.

$$hf_{tubAB} = 0,02217 * \frac{3,30 m}{0,1016 m} * \frac{(28,06 m/seg)^2}{2 * 9,81 m/seg} * 1,127 \frac{kg}{m^3} * 9,81 m/seg$$

$$hf_{tub}AB = 319,49 \text{ pa} * \frac{10,33 \text{ m. c. a}}{101325 \text{ pa}} * \frac{1000 \text{ mm. c. a}}{1 \text{ m. c. a}}$$

$$hf_{tub}AB = 32,57 \text{ mm. c. a}$$

6.3.1.2 Tubería sección BC.

Reemplazando en la ecuación 82.

$$NR = \frac{37,4 \frac{m}{seg} * 0,0508 \text{ m}}{1,79 * 10^{-5} \frac{m^2}{seg}}$$

$$NR = 106140,7821$$

$$\frac{D}{E} = \frac{0,0508 \text{ m}}{1,2 * 10^{-4} \text{ m}} = 423,3$$

Utilizando los valores anteriormente calculados procedemos con el cálculo de factor fricción para la sección BC.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 * 423,3} + \frac{5,74}{106140,7821^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,03183$$

Reemplazando en la ecuación 81.

$$hf_{tub}BC = 0,03183 * \frac{1,12 \text{ m}}{0,0508 \text{ m}} * \frac{(37,4 \text{ m/seg})^2}{2 * 9,81 \text{ m/seg}} * 1,127 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \text{ m/seg}$$

$$hf_{tub}BC = 553,13 \text{ pa} * * \frac{10,33 \text{ m. c. a}}{101325 \text{ pa}} * \frac{1000 \text{ mm. c. a}}{1 \text{ m. c. a}}$$

$$hf_{tub}BC = 56,39 \text{ mm. c. a}$$

6.3.1.3 Tubería sección CD.

Reemplazando en la ecuación 82.

$$NR = \frac{24,95 \frac{m}{seg} * 0,0508 m}{1,79 * 10^{-5} \frac{m^2}{seg}}$$

$$NR = 70807,82$$

$$\frac{D}{E} = \frac{0,0508 m}{1,2 * 10^{-4} m} = 423,3$$

Utilizando los valores anteriormente calculados procedemos con el cálculo de factor fricción para la sección CD.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 * 423,3} + \frac{5,74}{70807,82^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,02683$$

Reemplazando en la ecuación 81.

$$hf_{tub CD} = 0,02683 * \frac{1,36 m}{0,0508 m} * \frac{24,95 m/seg^2}{2 * 9,81 m/seg} * 1,127 \frac{kg}{m^3} * 9,81 m/seg$$

$$hf_{tub CD} = 251,96 pa * \frac{10,33 m. c. a}{101325 pa} * \frac{1000 mm. c. a}{1 m. c. a}$$

$$hf_{tub CD} = 25,69 mm. c. a$$

6.4 Perdidas por accesorios

Las pérdidas de energía son proporcionales a la carga de velocidad del fluido, conforme pasa por un codo, expansión o contracción de la sección del flujo, o por una válvula.

$$hl = k * \left(\frac{V^2}{2g}\right) * \rho_{aire} * g \quad (84)$$

- hl = Perdida menor (pa)
- k = Coeficiente de resistencia (adimensional)
- V = Velocidad (m/s)
- ρ_{aire} = Densidad del aire (kg/m^3)
- g = Gravedad (m/seg^2)

6.4.1 Codos.

En la figura 47 podemos apreciar diferentes valores de coeficiente de resistencia para varios tipos de codo utilizados comercialmente.

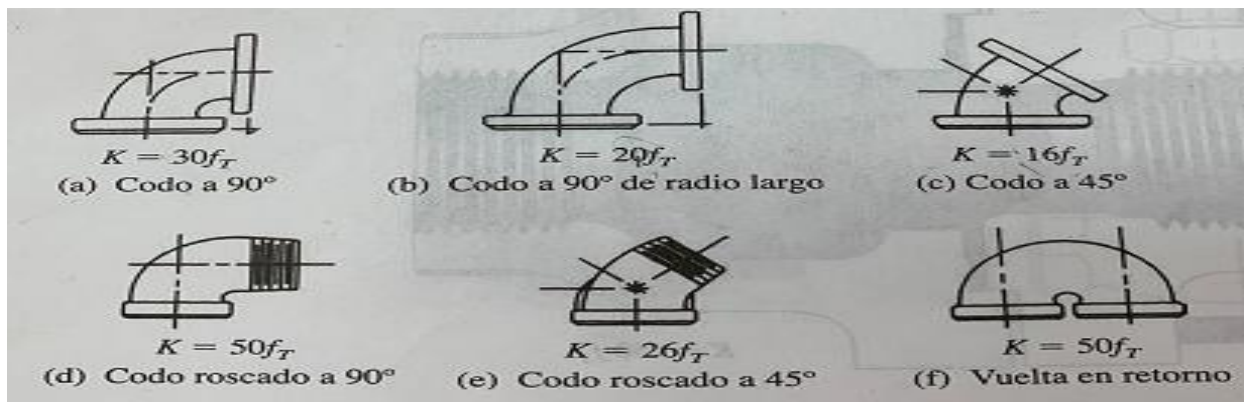


Figura 47. Codos de Tubería

Fuente: (Mott, 2006).

El factor de fricción en la tubería a la que está conectado el accesorio f_T varía según el tamaño de la tubería, los valores se pueden observar en la tabla 9.

Tabla 9. Factor de fricción para tubería acero comercial.

Tamaño Nominal Tubería	factor de Fricción f_t	Tamaño Nominal Tubería	Factor de Fricción f_t
pulg		pulg	
1/2	0.027	3 1/2	0.017
3/4	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1 1/4	0.022	8-10	0.014
1 1/2	0.021	12-16	0.013
2	0.019	18-24	0.012
2 1/2, 3	0.018		

Fuente: (Mott, 2006)

6.4.1.1 Perdida por codos en la sección AB,CD.

De la figura 47 tomamos un codo de 90° de radio largo con un coeficiente de resistencia $K = 20ft$, según la tabla 9 para un diámetro de tubería de 4 pulgadas el factor de fricción sería de $f_t = 0,017$, reemplazando en la ecuación 84 hallamos la pérdida de energía por accesorios.

Sección AB:

$$hf_{codoAB} = 0,34 * \left(\frac{(28,06 \text{ m/seg})^2}{2 * 9,81 \text{ m/seg}^2} \right) * 1,127 \text{ kg/m}^3 * 9,81 \text{ m/seg}^2$$

$$hf_{codoAB} = 150,85 \text{ pa} * \frac{10,33 \text{ m. c. a}}{101325 \text{ pa}} * \frac{1000 \text{ mm. c. a}}{1 \text{ m. c. a}}$$

$$hf_{codoAB} = 15,37 \text{ mm. c. a}$$

Sección BC:

Según la tabla 9 para un diámetro de tubería de 2 pulgadas el factor de fricción sería de $f_t = 0,019$, reemplazando en la ecuación 84 hallamos la pérdida de energía por accesorios.

$$hf_{codo}BC = 0,38 * \left(\frac{(37,4 \text{ m/seg})^2}{2 * 9,81 \text{ m/seg}^2} \right) * 1,127 \text{ kg/m}^3 * 9,81 \text{ m/seg}^2$$

$$hf_{codo}CD = 299,51 \text{ pa} * \frac{10,33 \text{ m. c. a}}{101325 \text{ pa}} * \frac{1000 \text{ mm. c. a}}{1 \text{ m. c. a}}$$

$$hf_{codo}CD = 30,53 \text{ mm. c. a}$$

6.4.2 Contracción.

La pérdida de energía en una contracción puede disminuir en forma sustancial si la contracción se hace más gradual, la figura 48 muestra los datos para el coeficiente de resistencia versus la relación de diámetros para distintos valores de ángulos.

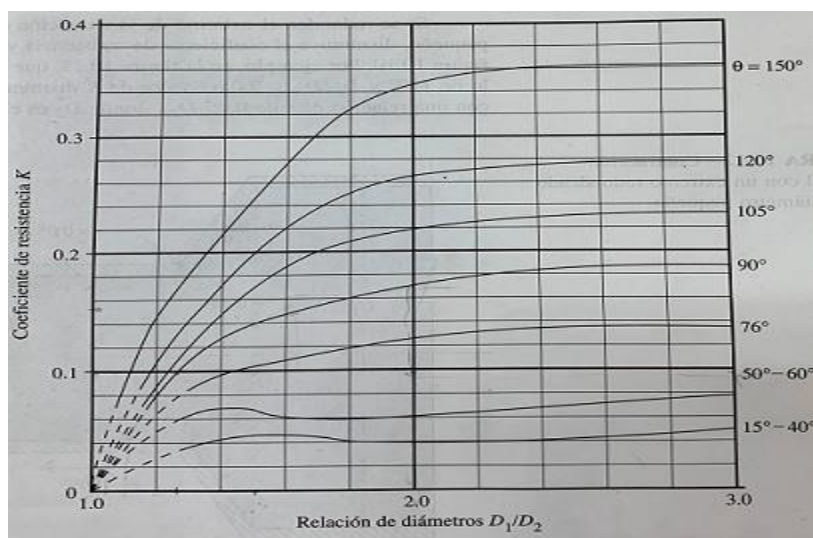


Figura 48. Coeficiente de resistencia contracción gradual.

Fuente: (Mott, 2006)

Para una contracción que pasa de una tubería de 4 pulgadas a una tubería de 2 pulgadas $D1/D2 = 4/2$ y un ángulo de $\theta = 90^\circ$ se obtiene un coeficiente de resistencia $k = 0,175$, reemplazando en la ecuación 84 obtenemos.

$$h_{f_{contracción}} = 0,175 * \left(\frac{(37,4 \text{ m/seg})^2}{2 * 9,81 \text{ m/seg}^2} \right) * 1,127 \text{ kg/m}^3 * 9,81 \text{ m/seg}^2$$

$$h_{f_{contracción}} = 137,94 \text{ pa} * * \frac{10,33 \text{ m. c. a}}{101325 \text{ pa}} * \frac{1000 \text{ mm. c. a}}{1 \text{ m. c. a}}$$

$$h_{f_{contracción}} = 14,06 \text{ mm. c. a}$$

6.4.3 Y simétrica.

Las pérdidas dinámicas se estiman con los coeficientes de resistencia que fluye a través de ciertos acoplamientos. Además, los fabricantes de dispositivos especiales para manejar aire publican gran cantidad de datos acerca de la caída de presión esperadas. Algunos datos se compilan en la tabla 10.

Tabla 10. Factores de pérdida para acoplamientos de ductos.

Coeficiente de Resistencia K	
Te, rama	1
Te, flujo a través del ramo principal	0,1
Y simétrica	0,3

Fuente: (Mott, 2006).

De la tabla 10 se toma el valor de coeficiente de resistencia para una y simétrica $k = 0,3$, reemplazando en la ecuación 84 obtenemos.

$$hf_y = 0,30 * \left(\frac{(37,4 \text{ m/seg})^2}{2 * 9,81 \text{ m/seg}^2} \right) * 1,127 \text{ kg/m}^3 * 9,81 \text{ m/seg}^2$$

$$hf_y = 236,46 \text{ pa} * * \frac{10,33 \text{ m. c. a}}{101325 \text{ pa}} * \frac{1000 \text{ mm. c. a}}{1 \text{ m. c. a}}$$

$$hf_y = 24,11 \text{ mm. c. a}$$

6.5 Perdidas totales del sistema de inyección de aire

Las pérdidas totales de energía es la sumatoria de las caídas de presión por tubería y accesorios que están presentes en el sistema.

$$hf_{total} = hf_{tubAB} + hf_{2codosAB} + hf_{contracción} + hf_{tubBC} + hf_y \quad (85)$$

$$+ hf_{tubCD} + hf_{codoCD}$$

$$hf_{total} = 32,57 + 30,74 + 14,06 + 56,39 + 24,11 + 25,69 + 30,53$$

$$hf_{total} = 214,09 \text{ mm. c. a}$$

6.6 Selección del ventilador

La selección de un ventilador consiste en elegir aquel que satisfaga los requisitos de caudal y presión con que debe circular el aire. Los fabricantes de los ventiladores proporcionan la información necesaria para realizar una correcta selección. Para conocer la potencia de accionamiento del ventilador se debe tener en cuenta las caídas de presión totales en el sistema y el caudal que el ventilador va a suministrar.

$$P_{acc} := \frac{p_h}{\eta_v} = \frac{Q * hf_{total}}{\eta_v} \quad (86)$$

- P_{acc} : Potencia de accionamiento (w)
- P_h : Potencia hidráulica (w)
- Q : Caudal (m^3/seg)
- hf_{total} : Perdidas totales en el sistema ($mm. c. a$)
- η_v : Eficiencia del ventilador

$$P_{acc} = \frac{0,455 \text{ m}^3/s * 428,18 \text{ mm. c. a}}{0,671} * \frac{101325 \text{ N/m}^2}{10330 \text{ mm. c. a}}$$

$$P_{acc} = 2847,94 \text{ w}$$

$$P_{acc} = 3,819 \text{ hp}$$

Una vez calculada la potencia de accionamiento procedemos a buscar en los catálogos de fabricantes de ventiladores para realizar la selección. En este caso del catálogo de SODECA en la sección de ventiladores centrífugos de media presión y simple CMA aspiración con envolvente y turbina en fundición de aluminio con las siguientes características técnicas. Se compilan demás características en el anexo 4.

- Modelo: CMA-545-2T-4
- Velocidad (r/min): 2900
- Intensidad máxima admisible: 230V:10,18 400V:5,88
- Potencia instalada (kw): 3
- Caudal máximo (m^3/h): 3550
- Nivel de presión sonora dB(A): 88
- Peso aprox. (kg): 64

6.7 Caracterización válvula tipo globo

Para garantizar el flujo ideal que debe salir por cada una de las tuberías del sistema de inyección de aire sea el calculado, se realizó una prueba experimental en laboratorio de plantas térmicas de la universidad francisco de paula Santander utilizando el ventilador centrifugo del banco de pruebas turbo Max (Ver figura 49), su finalidad es conocer la posición en la que debe estar la válvula de globo para que las velocidades de salida por la tubería de 2 pulgadas de aire primario y secundario sean de 24 m/seg y 12 m/seg respectivamente.



Figura 49. Banco de pruebas.

6.7.1 Registro de velocidades.

la prueba se realizó dividiendo la apertura de la válvula en secciones de 15 grados (ver figura 50), registrando en cada una de las posiciones la velocidad del aire a la salida del ducto primario y secundario. En la tabla 11 se compilan los resultados tomando como partida 0° la válvula totalmente abierta.

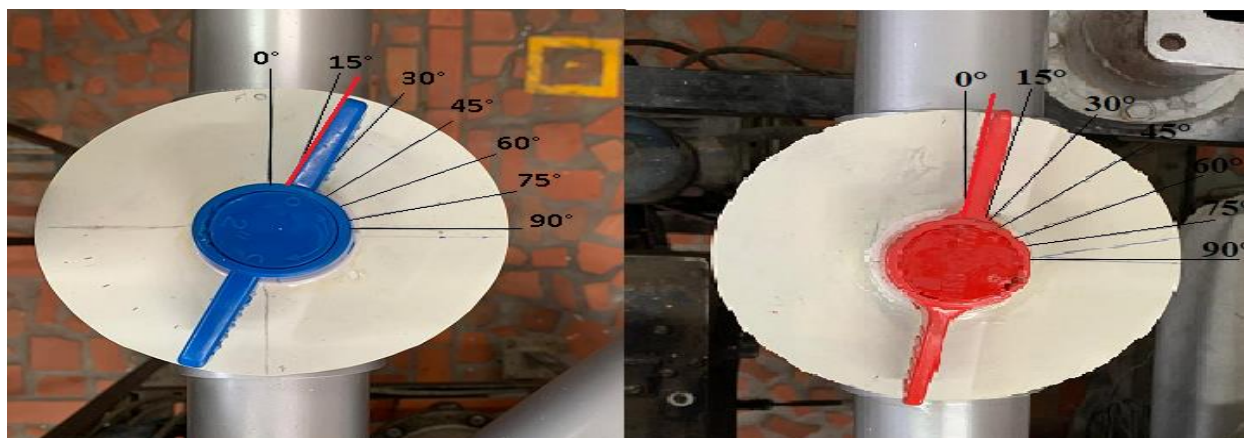


Figura 50. Grados de apertura.

Tabla 11. Velocidades con la válvula roja totalmente abierto.

Grados	Primario	Secundario
0°	26,05	17,10
15°	13,50	26,89
30°	7,05	33,28
45°	3,62	35,2
60°	0,82	No registra
75°	No registra	No registra

Se realiza la regulación de la válvula de globo roja a una posición de 4 grados y se registran nuevamente los datos de velocidad con un anemómetro (ver figura 51).



Figura 51. Toma de muestras con anemómetro.

Tabla 12. Velocidades con la válvula roja abierta a 4°.

Grados	Primario	Secundario
0°	22,03	14,37
15°	14,08	22,88
17°	11,99	24,01
30°	7,41	28,62
45°	3,74	30,47
60°	1,15	33,8
75°	No registra	No registra

6.8 Presupuesto



**EVALUACIÓN DE LA COMBUSTIÓN DE LOS
HORNOS COLMENA DE LA EMPRESA CERÁMICA
AMERICA S.A**

Cotización
A-00001

Ítem	Código	Descripción	Cantidad	Unidad	Vr. Unitario	Vr Total
1	VET01	tubo galvanizado de 4 pulgadas	6	unidad	\$ 165.900	\$ 995.400
2	VET02	tubo galvanizado de 2 pulgadas	8	Unidad	\$ 235.218	\$ 1.881.744
3	VET03	codos a 90° galvanizado de 4 pulgadas	8	unidad	\$ 54.600	\$ 436.800
4	VET04	curvas a 90° galvanizadas de 2 pulgadas	36	unidad	\$ 21.508	\$ 774.288
5	VET05	reducción de 4 a 2 pulgadas galvanizadas	4	unidad	\$ 35.900	\$ 143.600
6	VET06	Y de 2 pulgadas galvanizada	12	unidad	\$ 31.260	\$ 375.120
7	VET07	válvula de globo de 2 pulgadas	12	unidad	\$ 76.890	\$ 922.680
8	VET08	Ventilador SODECO CMA-545-2T-4	2	unidad	\$ 3.291.474	\$ 6.582.948
					Total	\$ 12.112.580

7. Conclusiones

Para el balance termodinámico se observa que la cantidad de calor utilizado en el proceso de cocción de la arcilla es de 22,05 % de la energía suministrada lo que hace que estos hornos sean muy ineficientes.

La pérdida por intangibles es considerable ya que amerita realizar un análisis de humos para conocer la composición en partículas por millón, el cual nos permite conocer el factor de aire ideal para la combustión.

La pérdida de energía por la cúpula es de (12,2 %), es significativa y se recomienda la utilización de algún aislante entre las capas de ladrillo y la parte exterior de la cúpula.

La implementación del sistema de inyección de aire dio como resultado una reducción considerable el tiempo de cocción y consumo de carbón.

Para facilitar el espacio de memoria computacional se optó por realizar la masa de cocción en un diseño de geometría maciza con la forma interna del horno, utilizando el efecto de porosidad para disminuir la complejidad del enmallado.

El contacto de la masa de cocción con las falcas del horno que vienen siendo el piso o base del horno, genera divergencia total, por lo que se tomó la decisión de ubicarla a una distancia de 5 mm sobre el piso.

En el diseño real del piso del horno se compone de 1147 falcas que separan los muros de los caños de la masa de cocción. Para la simulación no se logró realizar el enmallado por dificultad de equipos de cómputo ya que no contaban con los procesadores y memoria requerida para este proceso.

La simulación de cada proceso tomo alrededor de 4 a 5 días. La variable a observar fue la temperatura, ya que se conocía la curva de cocción ideal suministrada por la empresa, una vez el proceso llego a la temperatura máxima alcanzada en el proceso de cocción real se decidió detener la simulación.

Al observar las figuras 38 y 39 la ubicación del túnel de salida de humos no es la adecuada ya que no logra evacuar de manera homogénea los gases y humos producto de la combustión.

Se observaron temperaturas que oscilan alrededor de los 200 °C a la salida de los gases producto de la combustión, implicando grandes posibilidades de recuperación de calor residual en el aprovechamiento de secado artificial de los productos.

8. Recomendaciones

En la figura 37 se observa que una mayor altura en los deflectores permite que el flujo de los gases de combustión alcance la altura máxima de la cámara de cocción, además contribuye a disminuir la recirculación de los gases sobre los deflectores evitando el sobrecalentamiento de la materia prima en ese sector.

Comparando las figuras 36 y 37, se observa que una menor altura en la masa de cocción garantiza una mejor distribución de temperaturas dentro de la cámara de cocción, se recomienda en el momento del cargue dejar un espacio aproximadamente de 30-40 centímetros entre las paredes internas del horno y la masa de cocción

Se recomienda homogenizar el combustible, esto permitiría una mejor combustión.

Utilizar en simulaciones en ANSYS fluent donde se manejen altas velocidades el modelo de viscosidad k.omega ya que presento mejores comportamientos de convergencia en el momento de llevar a cabo la simulación comparado con el modelo de viscosidad k-épsilon.

La instalación de termopares en diferentes zonas del horno permitiría un mayor control de las temperaturas dentro de la cámara de cocción y así garantizar mayor uniformidad en el color de la materia prima, evitando tonos oscuros y rojizos y evitando agrietamiento en el material.

El flujo de aire primario tendría un mayor desempeño si se suministra directamente en las hornillas de combustión.

Sería pertinente para futuras investigaciones relacionadas con la eficiencia de los hornos ladrilleros artesanales tipo bóveda tener en cuenta el uso de la recirculación de gases de combustión dentro de la cámara de cocción del horno. Ya que esta operación se observó mientras

se recolectaban las muestras de campo, en donde los operarios manipulan un damper en el túnel que conduce hacia la chimenea el cual varían la altura del damper para obligar a los gases a recircular dentro de la cámara de cocci3n y elevando la presi3n y la temperatura al interior del horno.

Se recomienda despu3s de hacer el cargue de cada horno emplear el aire caliente que sale de los hornos adyacentes y los cuales están en etapa de enfriamiento para realizar un precalentamiento del horno y así mejorar las condiciones para iniciar la etapa de cocci3n del horno, ayudando en el ahorro de tiempo y combustible al inicio de cada quema.

El software empleado en el dise˜no del horno fue SolidWorks, el cual contribuy3 con el cumplimiento de los objetivos de este proyecto, gracias a su amplia gama de operaciones y herramientas para realizar modelos en 2D Y 3D.

9. Referencias bibliográficas

- ANFALIT. (2002). *Diagnóstico de la industria ladrillera*. Evaluación Nacional.
- Arango, T. (2001). Edificios altos de mampostería en arcilla. *Terracota*.
- Areiza Martinez, R. A. (2014). *Modelado, simulación y desarrollo de un análisis de eficiencia energética en un horno ladrillero tipo bóveda en condiciones de estado estacionario*. Universidad tecnologica de pereira, facultad de ingenieria, pereira.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación introduccion a la metodologia científica*. Venezuela: Editorial episteme.
- Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica. (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. Bogotá, Colombia.
- Ballona Castro, C., Londoño Gallón, L., & Nieto Cruz, E. (2015). *Identificación del modelo de turbulencia más adecuado, utilizando software de dinámica de fluidos computacional, para el diseño del vehículo urbano de la competencia shell eco marathon*. Bogotá.
- Camacho Garcia , H. (2004). *fundamentos de ventilacion mecanica*. Bogotá: Universidad nacional de colombia.
- Castells, X. E. (2012). *Los residuos como combustibles*. Cataluña: Diaz de santos.
- Castells, X. E. (2012). *Tratamiento y valoración energética de residuos*. Barcelona: Dias de Santos.
- Castells, X. E. (2012). *Tratamiento y valorización energetica de residuos*. Barcelona: Dias de Santos.

- Cohen, E., & Rolando, F. (1994). Evaluación de proyectos sociales. *Siglo Veintiuno*.
- Creswell, J., & Martens, M. (2014). *Research Design, Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. California: SAGE Publications, Fourth Edition.
- Duque, R. (1993). La evaluación en la ES Venezolana. *Planiuc*.
- EELA. Eficiencia energética en ladrilleras. (2015). *Programa de eficiencia energética en ladrilleras de América Latina para mitigar e*. EELA.
- Esparza, F. (2017). *Combustibles sólidos, líquidos y gaseosos*. Navarra.
- Guastavino, R. (2006). *Escritos sobre la construcción cohesiva y función en la arquitectura*. Madrid: CEHOPU.
- Guerrero Gómez, G. (2017). *Hornos de combustión: alternativas de reducción de emisiones e incremento de rentabilidad*. (Tesis de maestría en sistemas energéticos avanzados), Universidad de Santander UDES, facultad de Ingenierías, Bucaramanga, Santander.
- Jacome, S. (2012). *Evaluación termodinámica del proceso de cocción y análisis de gases en hornos a cielo abierto y Hoffman en Ocaña*. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Obtenido de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/handle/123456789/812>
- La Opinión*. (Viernes de Septiembre de 2016). Obtenido de <https://www.laopinion.com.co/economia/fabricantes-de-arcilla-cumplir-con-la-norma-118054#OP>
- La Opinión*. (Jueves de Octubre de 2018). Obtenido de <https://www.laopinion.com.co/economia/arcilleros-le-apuestan-la-tecnificacion-163733#OP>

Leonidivna Naidiuk, O., & Torres Jara, P. (2018). *Introducción al análisis térmico y fluidos mediante ANSYS*. Quito, Ecuador: Universitaria Abya- Yala.

Lockheed, M., & Hanushek, E. (1998). Improving Educational Efficiency in Developing Countries: What Do We Know? *Compare*.

Mokate, K. (2000). Eficacia, Eficiencia, Equidad Y Sostenibilidad: ¿qué queremos decir? *Banco Interamericano de Desarrollo, Instituto Interamericano para el Desarrollo Social (INDES)*.

Moliner, M. (1998). Diccionario del uso del español, 2da. edición. *Herederos de María Moliner*.

Mora Vargas, A. I. (2004). LA evaluación educativa: concepto, períodos y modelos. *Revista Electrónica "Actualidades Investigativas en Educación"*.

Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos. Sexta Edición*. México: Pearson Educación.

Norma tecnica colombiana NTC 6033. (20 de 11 de 2013). Etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental colombiano (SAC). Criterios ambientales para ladrillos y bloques de arcilla. 5-7. ICONTEC.

Ocampo, D. R. (2012). Políticas públicas en la industria del ladrillo. *Comunicación, Cultura y Política*, 71-92.

Pérez Álvarez, M., & Garcia Montes, J. (2003). Guía de tratamientos psicológicos eficaces para la depresión. *Guía de trata-mientos psicológicos eficaces I: Adultos*.

Pulido Velasco, J., & Quintero López, M. (2015). *1 Estudio de localización y diseño de planta en una asociación de ladrilleras de Palmira para el mejoramiento de la seguridad y salud en el trabajo*. Cali: Programa de Ingeniería Industrial Universidad Javeriana.

Resolucion numero 610. (24 de Marzo de 2010). Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial. Bogota D.C.

Resolución numero 6982. (27 de Diciembre de 2011). Registro distrital de ambiente.

Resolucion numero 909. (5 de Junio de 2008). ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Ricardo Arencibia, J., & Félix de Moya, A. (2008). La evaluación de la investigación científica: una aproximación teórica desde la cienciometría. *SciELO Analytics*.

Riojas Castillo, O., & Rodríguez Montaña, N. E. (2004). Características de hornos para productos cerámicos del parque minero industrial El Mochuelo, localidad 19 de Bogotá D.C. *Con-Ciencias*, 24-31.

Rodríguez Reinoso, F. (1989). Carbon .

Rolle, K. (s.f.). Eficiencia Térmica. En K. C. Rolle, *Termodinámica* (V. G. Pozo, Trad., Sexta edición ed., pág. 231). Pearson Prentice Hall.

Salvador Ferrer , C. (2016). *Analisis energetico y exergetico del proceso de coccion de composiciones ceramicas*. Tesis Doctoral, Universitat jaume i de castell escuela superior de tecnologõa y ciencias experimentales, España,castellon.

Sanchez Molina, J., Gelves, J., & Ramirez, R. (2012). Implementación de un sistema tipo scada para mejorar los procesos de secado y coccion de la ladrillera sigma ltda. *Revista Colombiana de tecnologias de avanzada*, 80-85. doi:
<https://doi.org/10.24054/16927257.v20.n20.2012.192>

- Servicio nacional de aprendizaje, mesa sectorial de minería. (2003). *Caracterización ocupacional industria de la arcilla*. Bogotá.
- Severns, W., Degler, H., & Miles, J. (2007). *Energía mediante Vapor, Aire o Gas*. Barcelona: Reverté.
- Sjoberg, G., & Nett, R. (1980). *Metodología de la investigación social*. México D.F.: Trillas.
- Soto Cruz, J. (1996). Fundamentos sobre ahorro de energía. En J. J. Cruz, *Fundamentos sobre ahorro de energía* (págs. 1.31-1.32). Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Stufflebeam, D., & Shinkfield, A. (1995). Evaluación sistemática - Guía teórica y práctica. *Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia, Ediciones Paidós Ibérica*.
- Tafur, R. (2008). *Tesis Universitaria*. Lima, Perú: Montero, Tercera Edición.
- Vega, A., & Diaz, Y. (10 de Abril de 2012). Aprovechamiento de los gases generados por el horno hoffman para mejorar la zona de secado en la ladrillera ocaña. Ocaña, Norte de Santander, Colombia.
- Vera Duarte, L. (2016). *Combustión Básica*. Cúcuta.

Anexos

Anexo 1. Datos obtenidos en pruebas realizadas

Tabla 13. Registro de temperaturas de cocción

Inicio							Final				
Fecha	1/11/2019	Hora	19:00 p.m.				Fecha	3/11/2019	Hora	16:30 p.m.	
Horno Colmena Cerámicas América S.A							tiempo de cocción		45:30:00 p. m.		
Horas	Tiempo	Temperaturas puntos interiores °C					Temperaturas puntos exteriores °C				
	(h)	T1i	T2i	T3i	T4i	T5i	T1e	T2e	T3e	T4e	T5e
19:00	1	48,9	55,6	46	32,4	56,6	40,9	38,9	39,6	31	50,3
20:00	1	59,7	66,9	48	34	54,7	40,9	40,6	39,9	33,3	51,1
21:00	1	77,5	77,8	51	36	52,7	32,5	37,8	40,5	33,1	45,5
22:00	1	193,9	254,7	135	51	53,1	37	38,5	38,8	32,7	45,1
23:00	1	176,2	201	158	62	55,6	38,1	39,4	38,5	33,2	53,3
0:00	1	312,4	390,5	201	71	55,6	39,2	40,6	38,4	33,1	52,6
1:00	1	241,8	264,9	244	80	54,5	39,9	41,5	38,3	33	50,7
2:00	1	328,6	417,9	287	89	54,6	40,5	42,3	38,1	32,7	49,5
3:00	1	310,1	344,3	333	98	53,6	41,5	42,4	37,2	32,9	47,3
4:00	1	402	503,3	456	120	54,6	41,8	45,1	36,2	34,3	46,8
5:00	1	455,4	587,1	543	114	54,6	45,3	52,2	36,3	34,8	47,5
6:00	1	424,2	495,5	463	168	55,5	52,7	55,7	36	34,6	50,5
7:00	1	466,8	590,2	546	179	55,5	47,5	55,3	36,7	37,9	47,9
8:00	1	472	562,6	610	229	55,6	52,1	57	36,7	40,6	48,1
9:00	1	513,9	615,1	607	244	55,5	54,6	65,3	36,9	41,2	46,7
10:00	1	520,4	653,5	615	304	56,5	59,4	66,2	39,5	43,8	48,9

11:00	1	555,1	737,4	698	323	57,1	62,7	72,6	39,3	43,3	46,4
12:00	1	569,6	702,7	666	416	60,6	64,4	73,9	40,8	48,4	47,3
13:00	1	612	709,6	712	518	62,3	78,2	80,9	40,6	47,8	52,1
14:00	1	648,3	777,6	772	536	66,5	71,5	83,7	41	45,6	48,1
15:00	1	645,5	788,8	722	546	73,4	71,2	85,1	40,3	50,7	46,8
16:00	1	642,4	753,4	774	570	77,1	71,3	88,5	39,9	68	47,5
17:00	1	671,6	767,8	753	595	86	76,5	88,8	39,4	54,4	42,5
18:00	1	690,5	772,8	758	614	96	85,2	94,7	39,6	52,7	45
19:00	1	700,2	792,7	813	664	80,3	84,3	96,3	39,3	55,2	44,4
20:00	1	741,3	877,4	880	667	82	85,8	98,3	39	55,3	43,4
21:00	1	779,7	922,8	904	703	84,5	84,4	100,2	39,4	58,3	43,7
22:00	1	791,2	879,4	918	739	93,1	90,5	102,4	39,6	58,6	43,8
23:00	1	812,1	889,1	932	775	95,7	92,4	104,7	39,8	58,9	43,9
0:00	1	835,5	945,4	946	811	99,9	94,6	106,5	39,9	60,3	43,6
1:00	1	851,9	968,7	960	847	102,4	96,7	108,9	40	61,2	43,5
2:00	1	877,5	952,9	974	886	112,4	98,3	111,5	40,7	62,4	43,7
3:00	1	872,6	953	990	906	126,3	100,2	114,9	41,3	63,7	44
4:00	1	888,5	999,3	1030	927	114,1	108,1	133,7	41,8	64,8	44,1
5:00	1	899	1021	1049	960	117,8	109,2	136,2	40,3	67,3	41,8
6:00	1	930,5	1074	1060	975	138,9	119,5	133,8	43,8	75,1	46,7
7:00	1	925,2	1019	1091	977	150,1	125,8	131,6	47,1	80,3	46,6
8:00	1	913,3	995,1	1080	980	168,3	123,9	132,9	44,8	78,5	45,9
9:00	1	927,4	1016	1080	1000	166,4	136,1	142,8	48,7	79,8	47,3
10:00	1	947,3	1040	1097	1009	169,1	138,3	144,4	54,4	80	49,4
11:00	1	946,4	1019	1097	1020	176,3	129,8	148,3	52,2	80,4	42,6
12:00	1	954,7	1045	1107	1005	182,9	128,1	144,8	54,8	83,3	50,3

13:00	1	957,4	1043	1096	975	209	131,3	145,1	55,2	94,2	51,9
14:00	1	958,5	1048	1050	957	205,5	136,1	146,8	55,8	93,3	56,8
15:00	1	964,4	1051	1028	992	213,3	135,6	147,9	53,6	94,2	50,1
16:00	1	974	1050	1011	996	223,9	134,9	148,2	56,3	78,9	49,8
17:00	1	966,6	966,6	1036	951	219,4	135,9	145,2	55,9	84,1	39,1

Tabla 14. Suministro de carbón durante la cocción.

Suministro Carbón Manual								
Número de Hornillas	12	Peso Promedio/Palada	6,5 kg	Humedad del Carbón	0,0172			
Hora	paladas de carbón	Peso en kg	Temperaturas Interiores °C					
			T1i	T2i	T3i	T4i	T5i	
19:00	4	312	48,9	55,6	46	32,4	56,6	
20:00	4	312	59,7	66,9	48	34	54,7	
21:00	3	234	77,5	77,8	51	36	52,7	
22:00	3	234	193,9	254,7	135	51	53,1	
23:00	3	234	176,2	201	158	62	55,6	
0:00	3	234	312,4	390,5	201	71	55,6	
1:00	3	234	241,8	264,9	244	80	54,5	
2:00	3	234	328,6	417,9	287	89	54,6	
3:00	3	234	310,1	344,3	333	98	53,6	
4:00	3	234	402	503,3	456	120	54,6	
5:00	4	312	455,4	587,1	543	114	54,6	
6:00	4	312	424,2	495,5	463	168	55,5	

7:00	4	312	466,8	590,2	546	179	55,5
8:00	4	312	472	562,6	610	229	55,6
9:00	4	312	513,9	615,1	607	244	55,5
10:00	4	312	520,4	653,5	615	304	56,5
11:00	4	312	555,1	737,4	698	323	57,1
12:00	5	390	569,6	702,7	666	416	60,6
13:00	5	390	612	709,6	712	518	62,3
14:00	5	390	648,3	777,6	772	536	66,5
15:00	5	390	645,5	788,8	722	546	73,4
16:00	5	390	642,4	753,4	774	570	77,1
17:00	5	390	671,6	767,8	753	595	86
18:00	5	390	690,5	772,8	758	614	96
19:00	5	390	700,2	792,7	813	664	80,3
20:00	5	390	741,3	877,4	880	667	82
21:00	5	390	779,7	922,8	904	703	84,5
22:00	5	390	791,2	879,4	918	739	93,1
23:00	5	390	812,1	889,1	932	775	95,7
0:00	5	390	835,5	945,4	946	811	99,9
1:00	5	390	851,9	968,7	960	847	102,4
2:00	5	390	877,5	952,9	974	886	112,4
3:00	5	390	872,6	953	990	906	126,3
4:00	5	390	888,5	999,3	1030	927	114,1
5:00	5	390	899	1021	1049	960	117,8
6:00	5	390	930,5	1074	1060	975	138,9
7:00	5	390	925,2	1019	1091	977	150,1
8:00	5	390	913,3	995,1	1080	980	168,3
9:00	5	390	927,4	1016	1080	1000	166,4
10:00	5	390	947,3	1040	1097	1009	169,1

11:00	5	390	946,4	1019	1097	1020	176,3
12:00	5	390	954,7	1045	1107	1005	182,9
13:00	5	390	957,4	1043	1096	975	209
14:00	5	390	958,5	1048	1050	957	205,5
15:00	5	390	964,4	1051	1028	992	213,3
16:00	5	390	974	1050	1011	996	223,9
17:00	5	390	966,6	966,6	1036	951	219,4

Tabla 15. Calor por humedad de carbón.

Calor por Humedad de Carbón					
Número de Hornillas	12	Peso Promedio/Palada	6,5 kg	Humedad del Carbón	0,0172
Hora de Toma	Peso Total kg	Ti °C	Entalpía Vapor de Agua kj/kg	Qwc kj	
19	312	56,6	236,9544	821,0828122	
20	312	54,7	229,0048	778,4220787	
21	234	52,7	220,6368	550,1370326	
22	234	53,1	222,3104	556,8729379	
23	234	55,6	232,7704	598,9723459	
24	234	55,6	232,7704	598,9723459	
1	234	54,5	228,168	580,4486064	
2	234	54,6	228,5864	582,1325827	
3	234	53,6	224,4024	565,2928195	
4	234	54,6	228,5864	582,1325827	
5	312	54,6	228,5864	776,176777	

6	312	55,5	232,352	796,3844928
7	312	55,5	232,352	796,3844928
8	312	55,6	232,7704	798,6297946
9	312	55,5	232,352	796,3844928
10	312	56,5	236,536	818,8375104
11	312	57,1	239,0464	832,309321
12	390	60,6	253,6928	1138,634702
13	390	62,3	260,8124	1186,392979
14	390	66,5	278,405	1304,40414
15	390	73,4	307,3228	1498,384742
16	390	77,1	322,8458	1602,513026
17	390	86	360,224	1853,245992
18	390	96	402,306	2135,532048
19	390	80,3	336,28	1692,62964
20	390	82	343,42	1740,52476
21	390	84,5	353,92	1810,95876
22	390	93,1	390,091	2053,593828
23	390	95,7	401,0412	2127,04777
24	390	99,9	418,7484	2245,827667
1	390	102,4	2679,344	17409,90295
2	390	112,4	2694,7	17512,911
3	390	126,3	2714,92	17648,54676
4	390	114,1	2697,25	17530,0164
5	390	117,8	2702,744	17566,87015
6	390	138,9	2732,048	17763,44138
7	390	150,1	2746,018	17857,15214
8	390	168,3	2766,166	17992,30493
9	390	166,4	2764,228	17979,30482

10	390	169,1	2766,982	17997,77866
11	390	176,3	2773,87	18043,98336
12	390	182,9	2779,636	18082,66169
13	390	209	2796,8	18197,7978
14	390	205,5	2795,05	18186,0588
15	390	213,3	2798,62	18210,00636
16	390	223,9	2801,936	18232,25009
17	390	219,4	2800,796	18224,60297
			Total, Qwc	338654,8533

Tabla 16. Calor por agua formada en la combustión.

Agua Formada en la Combustión				
Masa Agua de Combustión 0,3848 kg H ₂ O/kg Carbón				
Energía Interna Agua U _a = 83,95 kJ/kg				
Hora de Toma	Peso Total kg	Ti °C	Entalpía Vapor Agua kJ/kg	Qac kJ
19	312	56,6	236,9544	18369,34105
20	312	54,7	229,0048	17414,93116
21	234	52,7	220,6368	12307,71687
22	234	53,1	222,3104	12458,41317
23	234	55,6	232,7704	13400,26504
24	234	55,6	232,7704	13400,26504
1	234	54,5	228,168	12985,85022
2	234	54,6	228,5864	13023,52429
3	234	53,6	224,4024	12646,78354
4	234	54,6	228,5864	13023,52429

5	312	54,6	228,5864	17364,69906
6	312	55,5	232,352	17816,78796
7	312	55,5	232,352	17816,78796
8	312	55,6	232,7704	17867,02006
9	312	55,5	232,352	17816,78796
10	312	56,5	236,536	18319,10895
11	312	57,1	239,0464	18620,50155
12	390	60,6	253,6928	25473,64148
13	390	62,3	260,8124	26542,09409
14	390	66,5	278,405	29182,25076
15	390	73,4	307,3228	33522,00284
16	390	77,1	322,8458	35851,5705
17	390	86	360,224	41460,99173
18	390	96	402,306	47776,32163
19	390	80,3	336,28	37867,66776
20	390	82	343,42	38939,18184
21	390	84,5	353,92	40514,93784
22	390	93,1	390,091	45943,19215
23	390	95,7	401,0412	47586,51057
24	390	99,9	418,7484	50243,86548
1	390	102,4	2679,344	389495,9684
2	390	112,4	2694,7	391800,474
3	390	126,3	2714,92	394834,9298
4	390	114,1	2697,25	392183,1576
5	390	117,8	2702,744	393007,6532
6	390	138,9	2732,048	397405,3631
7	390	150,1	2746,018	399501,8689
8	390	168,3	2766,166	402525,5196

9	390	166,4	2764,228	402234,68
10	390	169,1	2766,982	402647,9783
11	390	176,3	2773,87	403681,6742
12	390	182,9	2779,636	404546,9894
13	390	209	2796,8	407122,8252
14	390	205,5	2795,05	406860,1992
15	390	213,3	2798,62	407395,9562
16	390	223,9	2801,936	407893,595
17	390	219,4	2800,796	407722,5129
			Total Qac	7576417,882

Tabla 17. Calor por humedad de aire.

Calor por Humedad de Aire				
Masa de Aire Seco 19,73 kg humos/kg combustible				
Entalpía humedad aire 68 KJ/KG				
Hora de Toma	Peso Total kg	Ti °C	Entalpía Vapor Agua kj/kg	Qwa kj
19	312	56,6	236,9544	16637,37534
20	312	54,7	229,0048	15854,55773
21	234	52,7	220,6368	11272,9044
22	234	53,1	222,3104	11396,50718
23	234	55,6	232,7704	12169,02455
24	234	55,6	232,7704	12169,02455
1	234	54,5	228,168	11829,11691
2	234	54,6	228,5864	11860,0176
3	234	53,6	224,4024	11551,01065

4	234	54,6	228,5864	11860,0176
5	312	54,6	228,5864	15813,3568
6	312	55,5	232,352	16184,16514
7	312	55,5	232,352	16184,16514
8	312	55,6	232,7704	16225,36607
9	312	55,5	232,352	16184,16514
10	312	56,5	236,536	16596,17441
11	312	57,1	239,0464	16843,37997
12	390	60,6	253,6928	22857,06092
13	390	62,3	260,8124	23733,41763
14	390	66,5	278,405	25898,90348
15	390	73,4	307,3228	29458,41637
16	390	77,1	322,8458	31369,15366
17	390	86	360,224	35970,0633
18	390	96	402,306	41149,96709
19	390	80,3	336,28	33022,77904
20	390	82	343,42	33901,6468
21	390	84,5	353,92	35194,09939
22	390	93,1	390,091	39646,41391
23	390	95,7	401,0412	40994,28194
24	390	99,9	418,7484	43173,87399
1	390	102,4	2679,344	321432,2198
2	390	112,4	2694,7	323322,4009
3	390	126,3	2714,92	325811,2953
4	390	114,1	2697,25	323636,2822
5	390	117,8	2702,744	324312,5427
6	390	138,9	2732,048	327919,5932
7	390	150,1	2746,018	329639,1706

8	390	168,3	2766,166	332119,2025
9	390	166,4	2764,228	331880,6527
10	390	169,1	2766,982	332219,6445
11	390	176,3	2773,87	333067,4934
12	390	182,9	2779,636	333777,2345
13	390	209	2796,8	335889,9637
14	390	205,5	2795,05	335674,5549
15	390	213,3	2798,62	336113,9888
16	390	223,9	2801,936	336522,1576
17	390	219,4	2800,796	336381,8342
			Total Qwa	6296720,638

Tabla 18. Calor por Cúpula del segmento esférico uno.

Calor por Cúpula del segmento esférico uno			
K= 1,80 w/m*k	ri: 2,86	D: 7,38	Área del Segmento
	ro: 3,69	H: 1	A= 45,91
Hora de Toma	Temperatura °C		Qc1 kj
	Tli	Tle	
19	48,9	40,9	7437,312
20	59,7	40,9	17477,6832
21	77,5	32,5	41834,88
22	193,9	37	145864,2816
23	176,2	38,1	128386,5984
24	312,4	39,2	253984,2048
1	241,8	39,9	187699,1616
2	328,6	40,5	267836,1984
3	310,1	41,5	249707,7504

4	402	41,8	334864,9728
5	455,4	45,3	381255,2064
6	424,2	52,7	345370,176
7	466,8	47,5	389808,1152
8	472	52,1	390365,9136
9	513,9	54,6	426994,6752
10	520,4	59,4	428575,104
11	555,1	62,7	457766,5536
12	569,6	64,4	469666,2528
13	612	78,2	496254,6432
14	648,3	71,5	536230,1952
15	645,5	71,2	533906,0352
16	642,4	71,3	530931,1104
17	671,6	76,5	553243,0464
18	690,5	85,2	562725,6192
19	700,2	84,3	572580,0576
20	741,3	85,8	609394,752
21	779,7	84,4	646395,3792
22	791,2	90,5	651415,5648
23	812,1	92,4	669079,1808
24	835,5	94,6	688788,0576
1	851,9	96,7	702082,2528
2	877,5	98,3	724394,1888
3	872,6	100,2	718072,4736
4	888,5	108,1	725509,7856
5	899	109,2	734248,6272
6	930,5	119,5	753957,504
7	925,2	125,8	743173,4016

8	913,3	123,9	733876,7616
9	927,4	136,1	735643,1232
10	947,3	138,3	752098,176
11	946,4	129,8	759163,6224
12	954,7	128,1	768460,2624
13	957,4	131,3	767995,4304
14	958,5	136,1	764555,6736
15	964,4	135,6	770505,5232
16	974	134,9	780081,0624
17	966,6	135,9	772271,8848
		Total Qc1	24681928,44

Tabla 19. Calor por Cúpula del segmento truncado uno.

Calor por Cúpula del segmento truncado uno			
K= 1,80 w/m*k	ri: 2,86	D: 5,72	Área del Segmento
	ro: 3,69	H: 1	A= 30
Hora de Toma	Temperatura °C		Qc2 kj
	T2i	T2e	
19	55,6	38,9	10145,25
20	66,9	40,6	15977,25
21	77,8	37,8	24300
22	254,7	38,5	131341,5
23	201	39,4	98172
24	390,5	40,6	212564,25
1	264,9	41,5	135715,5
2	417,9	42,3	228177
3	344,3	42,4	183404,25

4	503,3	45,1	278356,5
5	587,1	52,2	324951,75
6	495,5	55,7	267178,5
7	590,2	55,3	324951,75
8	562,6	57	307152
9	615,1	65,3	334003,5
10	653,5	66,2	356784,75
11	737,4	72,6	403866
12	702,7	73,9	381996
13	709,6	80,9	381935,25
14	777,6	83,7	421544,25
15	788,8	85,1	427497,75
16	753,4	88,5	403926,75
17	767,8	88,8	412492,5
18	772,8	94,7	411945,75
19	792,7	96,3	423063
20	877,4	98,3	473303,25
21	922,8	100,2	499729,5
22	879,4	102,4	472027,5
23	889,1	104,7	476523
24	945,4	106,5	509631,75
1	968,7	108,9	522328,5
2	952,9	111,5	511150,5
3	953	114,9	509145,75
4	999,3	133,7	525852
5	1021	136,2	537516
6	1074	133,8	571171,5
7	1019	131,6	539095,5

8	995,1	132,9	523786,5
9	1016	142,8	530469
10	1040	144,4	544077
11	1019	148,3	528950,25
12	1045	144,8	546871,5
13	1043	145,1	545474,25
14	1048	146,8	547479
15	1051	147,9	548633,25
16	1050	148,2	547843,5
17	966,6	145,2	499000,5
		Total Qc2	18411502,5

Tabla 20. Calor por Cúpula del segmento truncado dos.

Calor por Cúpula del segmento truncado dos			
K= 1,80 w/m*k	ri: 4,50	D: 8,99	Área del segmento
	ro: 5,02	H: 1	A: 37,78
Hora de Toma	Temperatura °C		Qc3 kj
	T3i	T3e	
19	46	39,6	4896,2304
20	48	39,9	6196,7916
21	51	40,5	8032,878
22	135	38,8	73596,4632
23	158	38,5	91421,802
24	201	38,4	124394,8536
1	244	38,3	157367,9052
2	287	38,1	190417,4604
3	333	37,2	226297,6488
4	456	36,2	321162,1128

5	543	36,3	387643,7412
6	463	36	326670,372
7	546	36,7	389632,8348
8	610	36,7	438595,1388
9	607	36,9	436147,0236
10	615	39,5	440278,218
11	698	39,3	503929,2132
12	666	40,8	478300,5072
13	712	40,6	513645,1704
14	772	41	559241,316
15	722	40,3	521525,0412
16	774	39,9	561612,9276
17	753	39,4	545929,6896
18	758	39,6	549601,8624
19	813	39,3	591908,3532
20	880	39	643395,276
21	904	39,4	661450,1256
22	918	39,6	672007,6224
23	932	39,8	682565,1192
24	946	39,9	693199,1196
1	960	40	703833,12
2	974	40,7	714008,0988
3	990	41,3	725789,6532
4	1030	41,8	756008,5752
5	1049	40,3	771691,8132
6	1060	43,8	777429,5832
7	1091	47,1	798621,0804
8	1080	44,8	791965,2672

9	1080	48,7	788981,6268
10	1097	54,4	797626,5336
11	1097	52,2	799309,6128
12	1107	54,8	804970,8792
13	1096	55,2	796249,4688
14	1050	55,8	760598,7912
15	1028	53,6	745451,0784
16	1011	56,3	730379,8692
17	1036	55,9	749811,7836
		Total Qc3	24813789,65

Tabla 21. Calor por pared.

Calor por Pared			
K= 0,72 w/m*k	L: 1 m	r1: 5,5 m	ro: 6,5 m
Hora de Toma	TEMPERATURA °C		Qp kJ
	T4i	T4e	
19	32,4	31	1364,852759
20	34	33,3	682,4263796
21	36	33,1	2827,195001
22	51	32,7	17840,57535
23	62	33,2	28076,97105
24	71	33,1	36948,51398
1	80	33	45820,05692
2	89	32,7	54886,57882
3	98	32,9	63465,65331

4	120	34,3	83548,48676
5	114	34,8	77211,67038
6	168	34,6	130050,9701
7	179	37,9	137557,6602
8	229	40,6	183670,1856
9	244	41,2	197708,6711
10	304	43,8	253667,6343
11	323	43,3	272678,0834
12	416	48,4	358371,3388
13	518	47,8	458395,5481
14	536	45,6	478088,4237
15	546	50,7	482865,4083
16	570	68	489397,2037
17	595	54,4	527028,144
18	614	52,7	547208,467
19	664	55,2	593515,9713
20	667	55,3	596343,1663
21	703	58,3	628514,6956
22	739	58,6	663318,441
23	775	58,9	698122,1864
24	811	60,3	731853,5474
1	847	61,2	766072,3559
2	886	62,4	802923,3804
3	906	63,7	821153,9137
4	927	64,8	840554,3207
5	960	67,3	870288,613
6	975	75,1	877307,8558
7	977	80,3	874188,1923

8	980	78,5	878867,6875
9	1000	79,8	897098,2208
10	1009	80	905677,2952
11	1020	80,4	916011,1804
12	1005	83,3	898560,563
13	975	94,2	858687,3645
14	957	93,3	842016,663
15	992	94,2	875260,5766
16	996	78,9	894076,0468
17	951	84,1	845136,3264
		Total Qp kJ	23504909,28

Tabla 22. Calor por chimenea.

Calor por Chimenea					
Hora de Toma	Peso Total kg	T5i °C	T5e °C	Calor Especifico kj/kg	Qac kj
19	358,7	56,6	50,3	1,03201176	50467,73672
20	358,7	54,7	51,1	1,03161399	28827,59135
21	358,7	52,7	45,5	1,031195295	57631,78253
22	358,7	53,1	45,1	1,031279035	64040,51402
23	358,7	55,6	53,3	1,03180241	18420,99171
24	358,7	55,6	52,6	1,03180241	24027,38049
1	358,7	54,5	50,7	1,031572125	30427,88932
2	358,7	54,6	49,5	1,03159306	40838,25917
3	358,7	53,6	47,3	1,03138371	50437,02364
4	358,7	54,6	46,8	1,03159306	62458,51403

5	358,7	54,6	47,5	1,03159306	56853,26277
6	358,7	55,5	50,5	1,031781475	40044,82163
7	358,7	55,5	47,9	1,031781475	60868,12888
8	358,7	55,6	48,1	1,03180241	60068,45122
9	358,7	55,5	46,7	1,031781475	70478,88607
10	358,7	56,5	48,9	1,031990825	60880,47911
11	358,7	57,1	46,4	1,032116435	85723,73882
12	358,7	60,6	47,3	1,03284916	106629,4514
13	358,7	62,3	52,1	1,033205055	81804,14827
14	358,7	66,5	48,1	1,034084325	147693,8498
15	358,7	73,4	46,8	1,03552884	213812,1932
16	358,7	77,1	47,5	1,036303435	238104,3238
17	358,7	86	42,5	1,03816665	350545,9578
18	358,7	96	45	1,04026015	411813,6818
19	358,7	80,3	44,4	1,036973355	288968,6167
20	358,7	82	43,4	1,03732925	310808,267
21	358,7	84,5	43,7	1,037852625	328688,481
22	358,7	93,1	43,8	1,039653035	397854,2284
23	358,7	95,7	43,9	1,040197345	418248,2513
24	358,7	99,9	43,6	1,041076615	454966,8136
1	358,7	102,4	43,5	1,04159999	476217,0002
2	358,7	112,4	43,7	1,04369349	556568,1434
3	358,7	126,3	44	1,046603455	668606,5586
4	358,7	114,1	44,1	1,044049385	567293,3792
5	358,7	117,8	41,8	1,04482398	616375,4847
6	358,7	138,9	46,7	1,049241265	750922,1528
7	358,7	150,1	46,6	1,051585985	844838,6469
8	358,7	168,3	45,9	1,055396155	1002733,579

9	358,7	166,4	47,3	1,05499839	975331,3669
10	358,7	169,1	49,4	1,055563635	980770,0688
11	358,7	176,3	42,6	1,057070955	1097044,338
12	358,7	182,9	50,3	1,058452665	1089440,705
13	358,7	209	51,9	1,0639167	1297395,67
14	358,7	205,5	56,8	1,063183975	1227179,307
15	358,7	213,3	50,1	1,064816905	1348912,331
16	358,7	223,9	49,8	1,067036015	1442004,057
17	358,7	219,4	39,1	1,06609394	1492037,83
				Total Qh	21046104,33

Anexo 2. Análisis último de carbón.



Calle 7N N° 5 - 71 Zona Industrial
Tel: 5790078
FAX: 5790078
Cucuta-Colombia

Minerals Services
Cucuta
F490101
Job No. OL62966E1
Página 1 de 2

Reporte N°: 1903140255AR

Para: CERAMICA AMERICA
CUCUTA - NORTE DE SANTANDER
KM 17 VIA LA GARITA

REPORTE DE ANÁLISIS

LOCALIDAD CUCUTA
FECHA MARZO 13, 2019
PRODUCTO CARBON MINERAL

De acuerdo a instrucciones recibidas de CERAMICA AMERICA, los siguientes resultados analíticos fueron establecidos por el laboratorio de SGS Colombia S.A.S. en Cucuta, según la norma aplicable:

ID Laboratorio: CU1900371.001

Fecha de Recibido: 13/03/2019

Fecha de Análisis: 14/03/2019

ID Muestra: DINASTIA

*-ANALISIS PROXIMO CORTO

	Base Como Se Recibe	Base Seca	Método
Humedad Total, % en peso	1.72		ASTM D3302/D3302M-15
Ceniza, % en peso	4.02	4.09	ASTM D 3174-12
Azufre, % en peso	0.93	0.95	ASTM D 4239-14 E02
Poder Calorífico Bruto (Btu/Lb)	14528	14783	ASTM D5865-13
Poder Calorífico Bruto (Kcal/Kg)	8071	8213	ASTM D5865-13
Poder Calorífico Bruto (GJ/Ton)	33.79	34.38	ASTM D5865-13
Poder Calorífico Bruto (J/g)	33793	34385	ASTM D5865-13

ID Laboratorio: CU1900371.002

Fecha de Recibido: 13/03/2019

Fecha de Análisis: 14/03/2019

ID Muestra: FREDDY

*-ANALISIS PROXIMO CORTO

	Base Como Se Recibe	Base Seca	Método
Humedad Total, % en peso	2.23		ASTM D3302/D3302M-15
Ceniza, % en peso	14.69	15.02	ASTM D 3174-12
Azufre, % en peso	1.66	1.70	ASTM D 4239-14 E02
Poder Calorífico Bruto (Btu/Lb)	12384	12666	ASTM D5865-13
Poder Calorífico Bruto (Kcal/Kg)	6880	7037	ASTM D5865-13
Poder Calorífico Bruto (GJ/Ton)	28.80	29.46	ASTM D5865-13
Poder Calorífico Bruto (J/g)	28805	29461	ASTM D5865-13

ADVERTENCIA: La(s) muestra(s) a la(s) que se refieren los datos que figuran en este informe/certificado (en lo sucesivo, "los datos") ha(n) sido proporcionados por el Cliente o un tercero de conformidad con las directrices del Cliente. En consecuencia los datos que figuran en el informe no constituyen una garantía de la representatividad de la(s) muestra(s) y por tanto se refiere(n) única y exclusivamente a dicha(s) muestra(s). La Compañía no es responsable del origen o la fuente de dónde ha(n) sido extraída(s) la(s) muestra(s). Los reportes emitidos como consecuencia de inspecciones o ensayos con base en muestras, contendrán la opinión de la compañía, única y exclusivamente sobre las muestras que hayan sido objeto de inspección o ensayo, por lo que bajo ninguna circunstancia podrá interpretarse que contienen una opinión sobre la totalidad del lote del que haya sido obtenida la muestra objeto de la inspección o ensayo.

Este documento se emite por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, a las que se puede acceder en http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. La responsabilidad de SGS queda limitada en los términos establecidos en las citadas condiciones Generales que resultan de aplicación a la prestación de sus servicios.

Se advierte al poseedor de este documento que la información en él recogida refleja los resultados obtenidos por la Compañía en el momento de su intervención, habiendo sido llevada a cabo exclusivamente dentro de los límites establecidos tanto en el contrato como en las Condiciones Generales de Servicio. La compañía responde únicamente frente a su cliente, sin que pueda derivarse responsabilidad de ningún tipo de SGS frente a terceros ante los que se presente el certificado o reporte derivado de su intervención. El presente documento no podrá ser alterado ni modificado, ni en su contenido ni en su apariencia. En caso de modificación del mismo, SGS se reserva las acciones legales que estime oportunas para la defensa de sus legítimos intereses.



Calle 7N N° 5 - 71 Zona Industrial
Tel: 5790078
FAX: 5790078
Cucuta-Colombia

Minerals Services
Cucuta
F490101
Job No. OL62966E1
Página 2 de 2

Reporte N°: 1903140255AR

Para: CERAMICA AMERICA
CUCUTA - NORTE DE SANTANDER
KM 17 VIA LA GARITA

REPORTE DE ANÁLISIS

LOCALIDAD CUCUTA
FECHA MARZO 13, 2019
PRODUCTO CARBON MINERAL

De acuerdo a instrucciones recibidas de CERAMICA AMERICA, los siguientes resultados analíticos fueron establecidos por el laboratorio de SGS Colombia S.A.S. en Cucuta, según la norma aplicable:

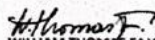
ID Laboratorio: CU1900371.003
ID Muestra: EFRAIN

Fecha de Recibido: 13/03/2019

Fecha de Análisis: 14/03/2019

*-ANALISIS PROXIMO CORTO

	Base Como Se Recibe	Base Seca	Método
Humedad Total, % en peso	2.25		ASTM D3302/D3302M-15
Ceniza, % en peso	12.82	13.11	ASTM D 3174-12
Azufre, % en peso	1.77	1.81	ASTM D 4239-14 E02
Poder Calorífico Bruto (Btu/Lb)	12716	13008	ASTM D5865-13
Poder Calorífico Bruto (Kcal/Kg)	7064	7227	ASTM D5865-13
Poder Calorífico Bruto (GJ/Ton)	29.58	30.26	ASTM D5865-13
Poder Calorífico Bruto (J/g)	29577	30256	ASTM D5865-13


WILLIAM THOMAS FAJARDO
COORDINADOR DE OPERACIONES

Cucuta, Colombia
MARZO 14, 2019

SGS COLOMBIA S.A.S



Las quejas, apelaciones o consultas sobre la validez de este certificado podrán ser enviadas al correo ca.servicioalcliente@sgs.com o al teléfono 7422274 extensión 1107.

ADVERTENCIA: La(s) muestra(s) a la(s) que se refieren los datos que figuran en este informe/certificado (en lo sucesivo, "los datos") ha(n) sido proporcionados por el Cliente o un tercero de conformidad con las directrices del Cliente. En consecuencia los datos que figuran en el informe no constituyen una garantía de la representatividad de la(s) muestra(s) y por tanto se refiere(n) única y exclusivamente a dicha(s) muestra(s). La Compañía no es responsable del origen o la fuente de dónde ha(n) sido extraída(s) la(s) muestra(s). Los reportes emitidos como consecuencia de inspecciones o ensayos con base en muestras, contendrán la opinión de la compañía, única y exclusivamente sobre las muestras que hayan sido objeto de inspección o ensayo, por lo que bajo ninguna circunstancia podrá interpretarse que contienen una opinión sobre la totalidad del lote del que haya sido obtenida la muestra objeto de la inspección o ensayo.

Este documento se emite por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, a las que se puede acceder en http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. La responsabilidad de SGS queda limitada en los términos establecidos en las citadas condiciones Generales que resultan de aplicación a la prestación de sus servicios.

Se advierte al poseedor de este documento que la información en él recogida refleja los resultados obtenidos por la Compañía en el momento de su intervención, habiendo sido llevada a cabo exclusivamente dentro de los límites establecidos tanto en el contrato como en las Condiciones Generales de Servicio. La compañía responde únicamente frente a su cliente, sin que pueda derivarse responsabilidad de ningún tipo de SGS frente a terceros ante los que se presente el certificado o reporte derivado de su intervención. El presente documento no podrá ser alterado ni modificado, ni en su contenido ni en su apariencia. En caso de modificación del mismo, SGS se reserva las acciones legales que estime oportunas para la defensa de sus legítimos intereses.

Anexo 3. Laboratorio de ensayos de arcilla.



LABORATORIO DE ENSAYOS



INFORME DE ENSAYO N° 19-011

Informe N°	19-011
Laboratorio de	Ensayos de Materiales Cerámicos
Dirección	Av. Gran Colombia N° 12E-96 Edificio los laboratorios, B. Colsag - Cúcuta
Solicitante	Cerámicas Américas S.A.
Dirección	Km. 17 Vía Lagarita
Contrato de servicio N°	CS-19-011
Fecha de recepción	2019/03/07
Fecha de emisión	2019/03/15
Dirección de ejecución de los ensayos	Laboratorio de Ensayos de Materiales Cerámicos
Muestreo	NA - Producto enviado e identificado por el cliente
Número de páginas	Tres (3)

Este certificado no atribuye a las muestras de ensayo otras características diferentes que las mostradas por los datos aquí contenidos. El informe expresa fielmente los resultados de las mediciones en el momento y condiciones en que se efectuaron.

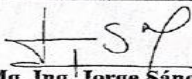
Los resultados de este informe se refieren única y exclusivamente a la muestra analizada.

El laboratorio del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos se compromete a respetar estrictamente el carácter confidencial de los resultados presentes en este informe.

El informe de ensayos no es válido sin las firmas de autorización.

Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización previa escrita del CIMAC.

APROBÓ


Mg. Ing. Jorge Sánchez Molina
 Director General
 Tarjeta Profesional N° 989

MUESTRA DE ENSAYO

Identificación	Producción (07/03/019)
Descripción	Arcilla

EJECUCIÓN DEL ENSAYO

Método de ensayo	Granulometría por hidrómetro	Fecha de inicio	2019/03/12	Fecha de finalización	2019/03/14
Condiciones ambientales	NA	Código interno	GHA-19-002		

RESULTADOS

Arenas (%)	Limos (%)	Arcilla (%)
10,19	29,03	60,79



LABORATORIO DE ENSAYOS



INFORME DE ENSAYO N° 19-011

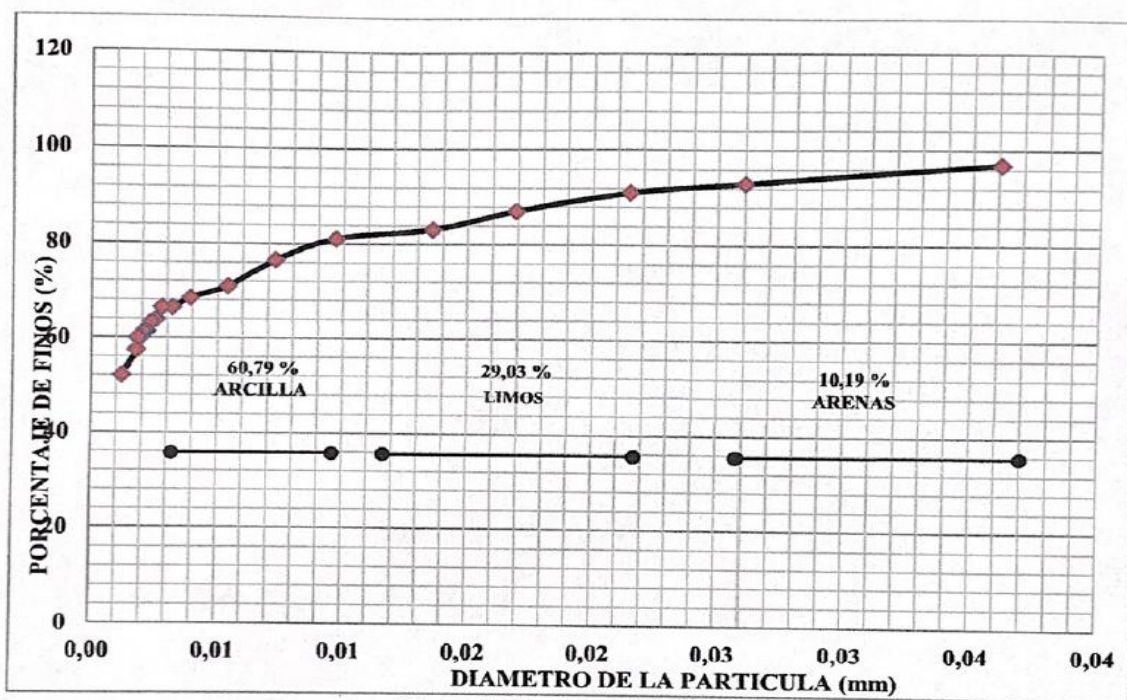


Figura 1. Curva granulométrica

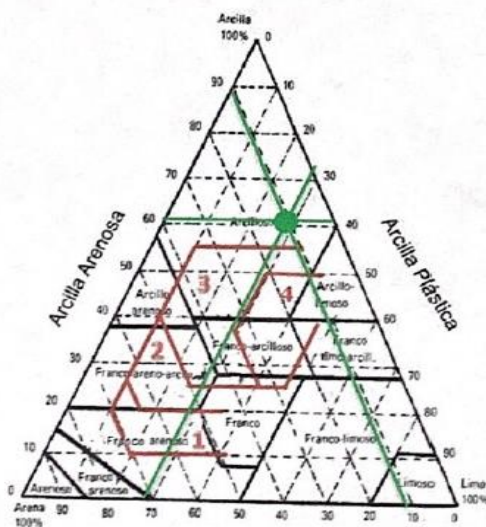


Figura 2. Diagrama granulométrico de aptitudes de Winkler



LABORATORIO DE ENSAYOS



INFORME DE ENSAYO N° 19-011

OBSERVACIONES

Según el diagrama granulométrico de aptitudes de Winkler la muestra no se ubica en ninguna zona; la textura es Arcilloso.

REVISÓ

Leidy Peñaloza Isidro

Ing. Leidy K. Peñaloza Isidro
Coordinadora Técnica
Tarjeta Profesional N° 54228-413114 NTS

EJECUCIÓN DEL ENSAYO

Método de ensayo	Índice de plasticidad – Método de Pfefferkorn		
Fecha de inicio	2019/03/12	Fecha de finalización	2019/03/15
Condiciones ambientales	NA	Código interno	IPA-19-002

RESULTADOS

Índice de plasticidad	21,5 %
-----------------------	--------

REVISÓ

Leidy Peñaloza Isidro

Ing. Leidy K. Peñaloza Isidro
Coordinadora Técnica
Tarjeta Profesional N° 54228-413114 NTS

OBSERVACIONES GENERALES

El símbolo decimal que utiliza el laboratorio es la coma.

Las muestras de ensayos no destructivos se almacenan por un periodo de 30 días calendario después de emitido el informe de resultados.

Las muestras de ensayos destructivos y de tamaño considerable se desechan 3 días hábiles después de emitido el informe de resultados.

El Laboratorio de Ensayos del Centro de investigación de Materiales Cerámicos no emite opiniones ni interpretaciones de los resultados presentes en este informe. Por tanto, el Cliente debe establecer si los resultados determinados en el informe cumplen con los requisitos de las normas establecidas.

El informe de ensayo se puede entregar por correo electrónico siempre y cuando haya sido solicitado por escrito, el CIMAC no se hace responsable del destino que se le de a la información suministrada por este medio.

Este informe de ensayo será archivado y conservado durante un periodo de 5 años en archivo de gestión, transcurrido este tiempo será enviado al archivo central por 10 años y finalmente pasará al archivo nacional, según lo disponga la Universidad Francisco de Paula Santander.

FIN DEL INFORME

Anexo 4. Características ventilador centrífugo cma-545-2t-4.





CMA



Posibilidad de diferentes posiciones de impulsión



Ventiladores centrífugos de media presión y simple aspiración con envolvente y turbina en fundición de aluminio

Ventilador:

- Envolvente en fundición de aluminio
- Turbina en fundición de aluminio
- Modelos 324, 325 y 426 turbina en poliamida, modelo 531-2T-3 turbina en chapa de acero

Motor:

- Motores eficiencia IE-2, excepto potencias inferiores a 0,75 kw monofásico y 2 velocidades
- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP54
- Monofásicos 230V-50Hz , y trifásicos 230/400V-50Hz
- Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C + 120°C, máximo +70°C los modelos con turbina de poliamida

Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster, polimerizada a 190°C , previo desengrase alcalino y pretratamiento libre de fosfatos.

Bajo demanda:

- Bobinados especiales para diferentes tensiones
- Turbinas en fundición de aluminio para los modelos 324, 325 y 426
- Ventilador preparado para transportar aire hasta 250°C
- Certificación ATEX Categoría 2 (ver serie CMA/ATEX)



Código de pedido

CMA —
 531 —
 2T —
 1,5

↓

CMA: Ventiladores centrífugos de media presión y simple aspiración con envolvente y turbina en fundición de aluminio

↓

Tamaño turbina

↓

Número de polos motor
2=2900 r/min 50 Hz

↓

T=Trifásico
M=Monofásico

↓

Potencia motor (CV)

Características técnicas

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)		Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel de presión sonora dB(A)	Peso aprox. (Kg)
		230V	400V				
CMA-218-2T	2670	0,64	0,37	0,09	265	63	6,0
CMA-218-2M	2760	0,79		0,09	265	63	6,0
CMA-324-2T	2750	1,21	0,70	0,18	440	70	9,0
CMA-324-2M	2780	1,42		0,18	440	70	9,0
CMA-325-2T	2710	1,29	0,75	0,25	600	73	11,0
CMA-325-2M	2780	1,84		0,25	600	73	11,0
CMA-426-2T	2710	1,92	1,11	0,37	850	75	13,0
CMA-426-2M	2780	2,53		0,37	850	75	13,0
CMA-527-2T	2760	2,57	1,49	0,55	1000	80	14,8
CMA-527-2M	2810	3,49		0,55	1000	80	14,8
CMA-528-2T-1	2770	2,78	1,60	0,75	1250	82	23,5
CMA-528-2M-1	2810	4,50		0,75	1250	82	23,5
CMA-528-2T-1,5	2860	4,20	2,40	1,10	1750	83	26,0
CMA-528-2M-1,5	2820	6,51		1,10	1750	83	26,0
CMA-531-2T-1,5	2860	4,20	2,40	1,10	1790	84	29,0
CMA-531-2M-1,5	2820	6,51		1,10	1790	84	29,0
CMA-531-2T-2	2770	5,44	3,13	1,50	2000	85	31,0
CMA-531-2M-2	2810	8,50		1,50	2000	85	31,0
CMA-531-2T-3	2885	7,77	4,47	2,20	2400	86	30,0
CMA-540-2T	2770	5,44	3,13	1,50	2600	85	38,0
CMA-545-2T-3	2885	7,77	4,47	2,20	2530	86	54,0
CMA-545-2T-4	2900	10,18	5,88	3,00	3550	88	64,0



Erp. Características del punto de máxima eficiencia (BEP)

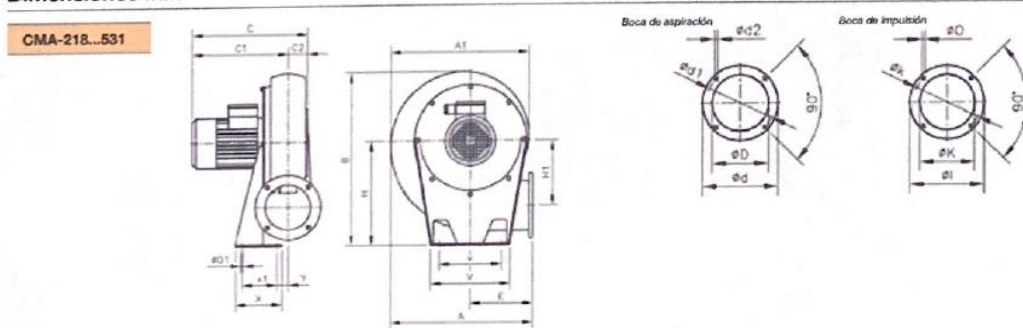
Modelo	MC	EC	VSD	SR	ηe[%]	N	(kW)	(m³/h)	(mmH ₂ O)	(RPM)
CMA-218-2T	-	-	-	-	-	-	0,114	135	43,93	2762
CMA-218-2M	-	-	-	-	-	-	0,094	126	46,20	2865
CMA-324-2T	A	S	NO	1,01	29,6%	40,6	0,183	191	104,35	2835
CMA-325-2T	A	S	NO	1,01	35,4%	45,9	0,213	243	114,01	2839
CMA-325-2M	A	S	NO	1,01	30,3%	40,4	0,253	255	110,67	2855
CMA-426-2T	A	S	NO	1,01	31,9%	41,4	0,308	316	113,86	2843
CMA-527-2T	A	S	NO	1,02	37,5%	46,1	0,441	436	139,14	2863
CMA-527-2M	A	S	NO	1,02	35,1%	43,5	0,474	442	138,23	2885
CMA-528-2T-1	A	S	NO	1,01	38,4%	46,1	0,604	631	134,95	2855
CMA-528-2M-1	A	S	NO	1,01	31,6%	38,8	0,742	646	133,04	2861
CMA-528-2T-1,5	A	S	NO	1,02	40,8%	47,4	0,926	889	156,00	2906
CMA-528-2M-1,5	A	S	NO	1,02	39,7%	46,2	0,966	918	153,51	2881
CMA-531-2T-1,5	A	S	NO	1,02	46,5%	52,4	1,144	1173	166,21	2884
CMA-531-2M-1,5	A	S	NO	1,02	41,3%	46,9	1,316	1242	160,62	2838
CMA-531-2T-2	A	S	NO	1,02	42,8%	48,5	1,258	1071	184,58	2844
CMA-531-2M-2	A	S	NO	1,02	40,7%	46,2	1,332	1082	183,69	2870
CMA-531-2T-3	A	S	NO	1,02	46,4%	51,7	1,443	1125	218,50	2937
CMA-540-2T	A	S	NO	1,02	56,1%	64,1	1,731	1778	200,51	2785
CMA-545-2T-3	A	S	NO	1,04	69,0%	75,1	2,602	1939	339,68	2886
CMA-545-2T-4	A	S	NO	1,04	67,1%	73,1	2,683	1737	380,53	2924

Características acústicas

Espectro de potencia sonora Lw(A) en dB(A) por banda de frecuencia en Hz

Modelo	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Modelo	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
218	29	43	61	67	71	68	63	54	531-1,5	50	64	82	88	92	89	84	75
324	36	50	68	74	78	75	70	61	531-2	51	65	83	89	93	90	85	76
325	39	53	71	77	81	78	73	64	531-3	52	66	84	90	94	91	86	77
426	41	55	73	79	83	80	75	66	540	54	67	85	91	96	92	87	79
527	46	60	78	84	88	85	80	71	545-3	55	68	86	92	97	93	88	80
528-1	48	62	80	86	90	87	82	73	545-4	57	70	88	94	99	95	90	82
528-1,5	49	63	81	87	91	88	83	74									

Dimensiones mm



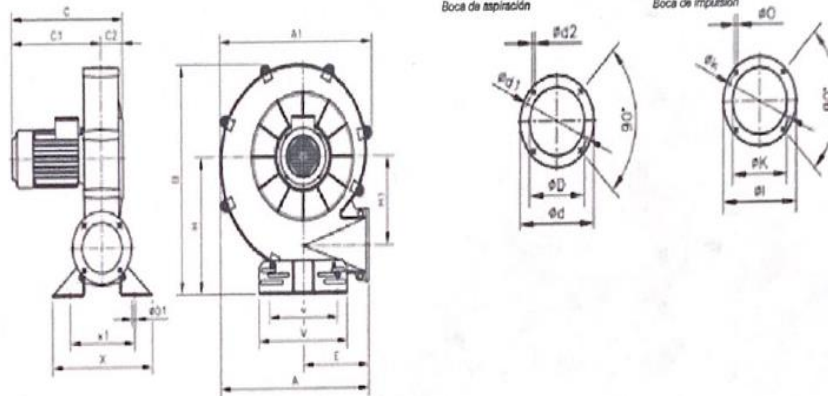
Modelo	A	A1	B	C	C1	C2	øD	ød	ød1	ød2	E	H	H1	øI	øK	øk	øO	øO1	V	v	X	x1	Y
CMA-218	241	236	288	239	207	32	80	113	90	M5	110	170	114,5	90	54	76	5,5	7	140	100	80	50	20
CMA-324	311	302	356	268	230	38	80	130	112	M5	145	205	145	108	62	90	7	9	173	125	90	60	20
CMA-325	335	328	399	271	231	40	94	140	122	M6	155	235	152	120	80	102	7	9	180	145	110	80	20
CMA-426	354	344	412	290	250	40	117	155	132	M6	162	240	163	140	90	119	7	13	210	160	105	65	25
CMA-527	371	361	440	297	255	42	125	170	147	M6	168	260	170	155	100	129	7	13	220	170	120	80	20
CMA-528...1	401	395	488	340	289	51	116	190	162	M6	178	290	177	190	130	160	11	13	230	180	140	100	20
CMA-528...1'5	401	395	488	337	289	48	135	190	162	M6	178	290	177	190	130	160	11	13	230	180	140	100	20
CMA-531...1'5	440	434	537	340	290	50	160	215	180	M6	193	320	200	200	140	175	11	13	240	190	160	120	21
CMA-531...2	440	434	537	401	351	50	160	215	180	M6	193	320	200	200	140	175	11	13	240	190	160	120	21
CMA-531...3	440	434	537	401	351	50	160	215	180	M6	193	320	200	200	140	175	11	13	240	190	160	120	21

CMA



Dimensiones mm

CMA-540-545

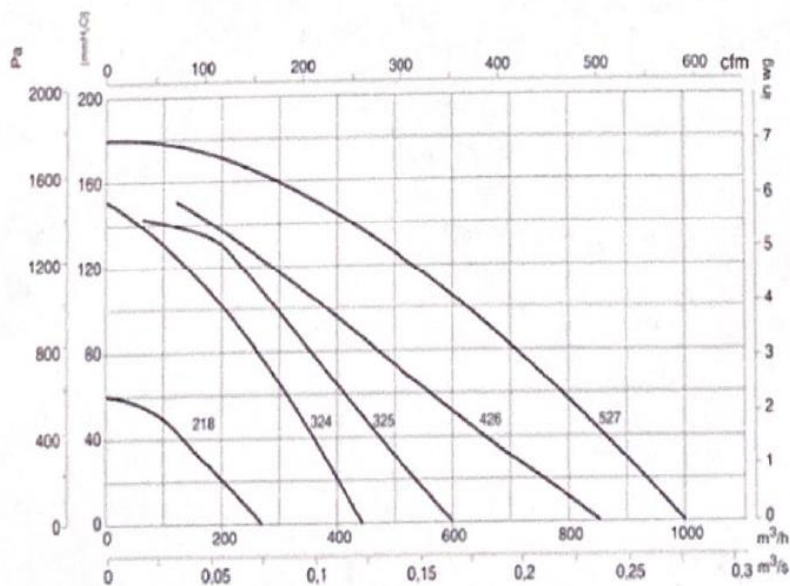


Modelo	A	A1	B	C	C1	C2	ϕD	ϕd	ϕd1	ϕd2	E	H	H1	ϕI	ϕK	ϕQ	ϕO1	V	v	X	x1	Y	
CMA-540	567	580	695	403	323	80	170	240	205	M10	252	415	270	220	150	190	13	11	336	218	374	240	-
CMA-545...3	651	646	776	449	334	115	180	255	220	M10	290	450	309	250	175	220	13	13	336	238	392	292	-
CMA-545...4	651	646	776	468	353	115	180	255	220	M10	290	450	309	250	175	220	13	13	336	238	392	292	-

Curvas características

Q= Caudal en m³/h, m³/s y cfm

Pe= Presión estática en mm.c.a., Pa e Inwg

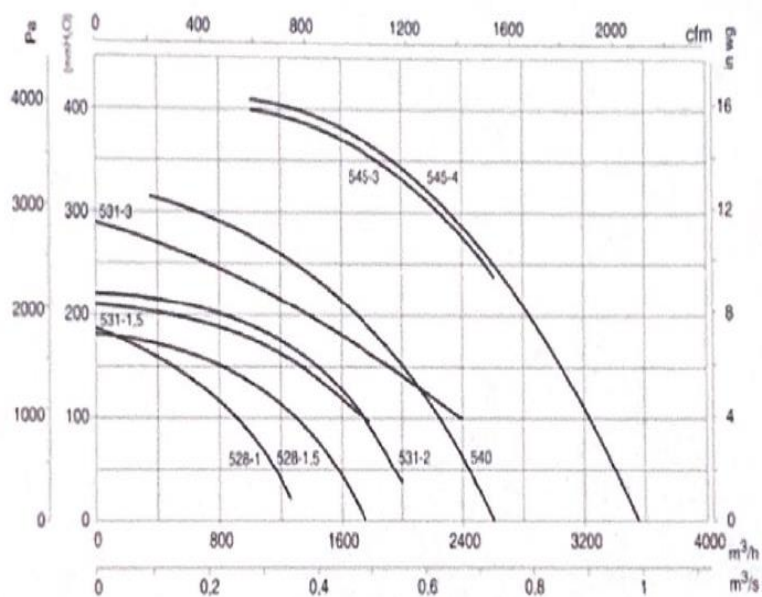


CMA

Curvas características

Q= Caudal en m³/h, m³/s y cfm

Pe= Presión estática en mm.c.a., Pa e inwg



Orientaciones

Suministro standard LG 270

Posición LG 180 bajo demanda y con medidas de anclaje especiales



Accesorios

Ver apartado accesorios.

