

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): JUAN SEBASTIÁN

APELLIDOS: JIMÉNEZ HERRERA

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): JHON ÉDISON

APELLIDOS: GUTIÉRREZ ESPINOSA

CO-DIRECTOR:

NOMBRE(S): LUIS DANIEL

APELLIDOS: MENDOZA PEREZ

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ALTERNATIVAS DE MEJORA PARA SOLUCIONAR Y APROVECHAR LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA TÉRMICA DEL HORNO DE RODILLOS #5 DE LA PLANTA DE CERÁMICA ITALIA EN CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER

RESUMEN

En el siguiente estudio se presenta la evaluación de la eficiencia energética del Horno de Rodillos # 5 SACMI FMS 2600, para conocer su funcionamiento y cuantificar la cantidad real de energía térmica que el proceso está produciendo, así mismo detectar los puntos críticos de pérdidas de energía térmica en el horno y posibles focos de aprovechamiento de calor, con el objetivo de plantear alternativas de mejora que permitan optimizar la eficiencia energética tanto del horno como de la planta en general, con la proyección de generar un ahorro en el consumo de combustible, el cual es el mayor gasto energético de la empresa. Se midieron todos los parámetros necesarios para los cálculos con la ayuda de los técnicos operarios del horno, así mismo con datos suministrados por la empresa como: consumo de gas, cromatografía del gas, composición de los gases de combustión. Después de ejecutado el estudio se evidencia la baja eficiencia energética del horno de un 23,3 % comparada con el 75,5% que se registra en pérdidas de energía térmica. Se plantearon alternativas para mejorar la eficiencia energética y aprovechar la energía térmica que se pierde por las chimeneas, finalmente se calculó el posible ahorro energético.

PALABRAS CLAVE: Eficiencia energética, horno de rodillos, energía térmica, perdidas, combustible

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 156 PLANOS: 0 ILUSTRACIONES: 96 CD ROOM: 1

****Copia No Controlada****

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ALTERNATIVAS DE MEJORA
PARA SOLUCIONAR Y APROVECHAR LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA TÉRMICA DEL
HORNO DE RODILLOS #5 DE LA PLANTA DE CERÁMICA ITALIA EN CÚCUTA,
NORTE DE SANTANDER

JUAN SEBASTIÁN JIMÉNEZ HERRERA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ALTERNATIVAS DE MEJORA
PARA SOLUCIONAR Y APROVECHAR LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA TÉRMICA DEL
HORNO DE RODILLOS #5 DE LA PLANTA DE CERÁMICA ITALIA EN CÚCUTA,
NORTE DE SANTANDER

JUAN SEBASTIÁN JIMÉNEZ HERRERA

Proyecto de grado presentado como requisito para optar por al título de
Ingeniero Mecánico

Director

ING. JHON ÉDISON GUTIÉRREZ ESPINOSA

Codirector

ING. LUIS DANIEL MENDOZA PEREZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: CÚCUTA, 21 DE SEPTIEMBRE 2022
HORA: 04:00 P.m.
LUGAR: LABORATORIO DE FLUIDOS Y TÉRMICAS FU306 UFPS
PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA MECÁNICA

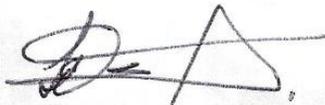
TÍTULO: "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ALTERNATIVAS DE MEJORA PARA SOLUCIONAR Y APROVECHAR LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA TÉRMICA DEL HORNO DE RODILLOS #5 DE LA PLANTA DE CERÁMICA ITALIA EN CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER."

Jurados: ING. LUIS EMILIO VERA DUARTE
ING. FAUSTINO MORENO GAMBOA

Director: ING. JHON EDISON GUTIÉRREZ ESPINOSA
Codirector: ING. LUIS DANIEL MENDOZA PEREZ

Nombre del estudiante	Código	Calificación	
		Letra	Número
JUAN SEBASTIÁN JIMÉNEZ HERRERA	1121324	Cuatro, Cuatro	4.4

APROBADA


ING. LUIS EMILIO VERA DUARTE.


ING. FAUSTINO MORENO GAMBOA.


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

Agradecimientos

Primeramente, a Dios por sus bendiciones en mi vida y darme la oportunidad de culminar mi carrera universitaria.

A la empresa Cerámica Italia S.A por la oportunidad de realizar mi proyecto de grado en modalidad pasantía en su organización.

A mis padres Claudio Jiménez y Claudia Herrera por los valores inculcados en mí y por su apoyo incondicional durante todo el proceso de aprendizaje.

A mi novia Angee Osorio por ser una gran motivación en este gran sueño de ser ingeniero mecánico.

A mis hermanos Geraldine y Jonathan por ser parte importante de mi vida y ser un acompañamiento en este proceso.

Resumen

En el siguiente estudio se presenta la evaluación de la eficiencia energética del Horno de Rodillos # 5 SACMI FMS 2600, para conocer su funcionamiento y de esta manera cuantificar la cantidad real de energía térmica que el proceso está produciendo, así mismo detectar los puntos críticos de pérdidas de energía térmica en el horno y posibles focos de aprovechamiento de calor, con el objetivo de plantear alternativas de mejora que permitan optimizar la eficiencia energética tanto del horno como de la planta en general, con la proyección de generar un ahorro en el consumo de combustible, el cual es el mayor gasto energético de la empresa.

Para la realización de la evaluación se midieron todos los parámetros necesarios para los cálculos con la ayuda de los técnicos operarios del horno, así mismo con datos suministrados por la empresa como: consumo de gas, cromatografía del gas, composición de los gases de combustión, etc.

Después de ejecutado el estudio se evidencia la baja eficiencia energética del horno de un 23,3 % comparada con el 75,5% que se registra en pérdidas de energía térmica. Posterior a esto se plantearon las alternativas para mejorar la eficiencia energética y aprovechar la energía térmica que se pierde por las chimeneas, finalmente se calculó el posible ahorro energético implementando alguna de las opciones de mejora.

Contenido

	Pág.
Introducción	20
1. Problema	21
1.1 Título	21
1.2 Planteamiento del problema	21
1.3 Formulación del problema	22
1.4 Justificación	22
1.4.1 Desde lo técnico.	22
1.4.2 Desde lo social	22
1.4.3 Desde lo económico.	22
1.5 Objetivos	22
1.5.1 General.	22
1.5.2 Específicos	22
1.6 Alcance	23
1.7 Limitación	23
1.8 Delimitaciones	23
1.8.1 Delimitación espacial.	23
1.8.2 Delimitación temporal.	23
2. Marco referencial	24

2.1 Antecedentes	24
2.2 Marco teórico	26
2.2.1 ¿Qué es la energía térmica?	26
2.2.2 Mecanismos de pérdidas de energía térmica	26
2.2.3 Principio de conservación de la energía.	29
2.2.4 Exergía.	30
2.2.5 Máquinas Industriales térmicas	31
2.2.6 Hornos de rodillos.	32
2.2.7 Tipos de hornos de rodillos	32
2.2.8 Mecanismos de pérdidas de calor en los hornos de rodillos.	34
2.2.9 Planta de producción cerámica.	35
2.2.10 Proceso de fabricación de la cerámica.	36
3. Diseño metodológico	46
3.1 Tipo de investigación	46
3.2 Fuentes de información	46
3.2.1 Fuentes primarias	46
3.2.2 Fuentes secundarias	46
3.3 Técnicas de recolección de datos	47
3.4 Análisis de datos	47
3.5 Población y muestra	47

3.5.1 Población.	47
3.5.2 Muestra.	47
3.6 Metodología	48
4. Cerámica Italia S.A	49
4.1 Misión	50
4.2 Visión	50
4.3 Propósito	50
4.4 Estructura organizacional	51
5. Horno de rodillos # 5 SACMI FMS 2600	52
5.1 Prehorno	53
5.2 Pre calentamiento	53
5.3 Cocción	53
5.4 Enfriamiento directo	54
5.5 Enfriamiento indirecto	55
5.6 Enfriamiento final	55
5.7 Características del horno	56
5.8 Desplazamiento rodillos	58
5.9 Sistema de combustión	61
5.10 Gas natural	66
5.11 Quemadores	69

5.12 Aireación	72
5.12.1 Sistema de aspiración de humos.	73
5.12.2 Sistema de aire de combustión	76
5.12.3 Sistema de enfriamiento directo.	78
5.12.4 Sistema de enfriamiento indirecto	80
5.12.5 Soplado de aire en enfriamiento final.	82
5.12.6 Aspiración de aire caliente en enfriamiento final	84
5.13 Tablero eléctrico	88
5.14 Toma de temperatura en paredes y techo del horno	90
5.15 Producción de cerámica	94
5.15.1 Cálculo de metros teóricos del horno # 5	97
6. Informe de cumplimiento de trabajo	99
6.1 Objetivo específico 1. Realizar una evaluación de la eficiencia energética del horno	99
6.1.1 Calor útil	99
6.1.2 Pérdidas de calor por fugas.	100
6.1.3 Pérdidas en la chimenea de gases de refrigeración.	102
6.1.4 Pérdidas de energía térmica por enfriamiento.	105
6.1.5 Pérdidas por convección y radiación.	106
6.1.6 Pérdidas en la chimenea de gases de combustión	113
6.1.7 Balance de energía	114

6.2 Objetivo específico 2. Diagnóstico de los puntos críticos de pérdida de energía térmica.	116
6.2.1 Aislamiento.	117
6.2.2 Pérdidas de energía térmica en las chimeneas.	120
6.2.3 Fugas de gas.	123
6.2.4 Cámara termográfica	124
6.3 Objetivo específico 3. Alternativas para solucionar y aprovechar las pérdidas de energía térmica	128
6.3.1 Mejorar el aislamiento del horno.	129
6.3.2 Cogeneración eléctrica.	131
6.3.3 Precalentamiento del aire de combustión.	134
6.3.4 Calor residual en otro proceso de la planta.	136
6.3.5 Intercambiador de calor.	138
6.4 Análisis de ahorro energético	141
7. Conclusiones	143
8. Recomendaciones	144
9. Referencias bibliográficas	145
Anexos	147

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Pérdida de calor por convección	27
Figura 2. Pérdida de calor por radiación	28
Figura 3. Pérdida de calor por conducción	29
Figura 4. Horno de rodillos monoestrato	33
Figura 5. Horno de rodillos bicanal	34
Figura 6. Planta de producción de Cerámica Italia, Cúcuta – Norte de Santander.	36
Figura 7. Proceso de fabricación de la cerámica	45
Figura 8. Metodología	48
Figura 9. Estructura organizacional de CERÁMICA ITALIA S.A	51
Figura 10. Horno de Rodillos # 5 SACMI FMS 2600	52
Figura 11. Esquema del horno	52
Figura 12. Modulo	58
Figura 13. Lado motorizado	59
Figura 14. Esquema motorizado	59
Figura 15. Engranajes helicoidales movimiento rodillos	60
Figura 16. Lado libre	60
Figura 17. Centralita o rampa de gas	62
Figura 18. Centralita o rampa de gas Horno #5	63
Figura 19. Bypass tubería de gas natural o GLP	64
Figura 20. Regulador de presión a milibares	64
Figura 21. Centralita de regulación	65
Figura 22. Centralita de regulación	65

Figura 23. Subestación de descompresión MC2	66
Figura 24. Contador de gas	67
Figura 25. Partes del quemador	70
Figura 26. Quemador del horno	71
Figura 27. Zona del horno	72
Figura 28. Distribución de ventiladores en el horno	73
Figura 29. Sistema de aspiración de humos (D)	74
Figura 30. Sistema aspiración de humos	75
Figura 31. Ventilador aspiración de humos	75
Figura 32. Placa del ventilador de aspiración de humos	76
Figura 33. Ventilador aire de combustión	76
Figura 34. Placa del ventilador de aire de combustión	77
Figura 35. Sistema “BSR”	78
Figura 36. Mangueras del intercambiador de calor	78
Figura 37. Ventilador de enfriamiento directo	79
Figura 38. Tubería de enfriamiento hacia la zona	79
Figura 39. Placa del ventilador de enfriamiento directo	79
Figura 40. Mangueras enfriamiento directo	80
Figura 41. Intercambiador de calor enfriamiento indirecto	81
Figura 42. Tubos transversales	81
Figura 43. Ventilador enfriamiento indirecto	82
Figura 44. Placa ventilador enfriamiento indirecto	82
Figura 45. Enfriamiento final encima del plano de rodillos	83

Figura 46. Enfriamiento final debajo del plano de rodillos	83
Figura 47. Ventilador de enfriamiento final	83
Figura 48. Placa ventilador enfriamiento final	84
Figura 49. Campanas de aspiración aire caliente	84
Figura 50. Ventilador aspiración aire caliente	85
Figura 51. Placa ventilador aspiración aire caliente	85
Figura 52. Toma de RPM de la relación del motor	87
Figura 53. Lámpara estroboscópica	87
Figura 54. Motor ventilador de aspiración de humos y aire caliente	88
Figura 55. Tablero eléctrico de control STD	88
Figura 56. Tablero de control Horno # 5	90
Figura 57. Controladores de temperatura	90
Figura 58. Toma de temperatura paredes del horno lado rodillos	91
Figura 59. Toma de temperatura paredes del horno lado motorizado	92
Figura 60. Toma de temperatura en el techo del horno	92
Figura 61. Pirómetro	92
Figura 62. Curva de cocción	95
Figura 63. Baldosa cocida	95
Figura 64. Baldosa cruda	96
Figura 65. Temperatura de baldosa cruda	96
Figura 66. Medición tamaño baldosa en crudo	97
Figura 67. Toma de temperatura Salida del horno	101
Figura 68. Anemómetro	102

Figura 69. Termómetro	103
Figura 70. Temperatura Aire enfriamiento indirecto	103
Figura 71. Sistema de recuperación de calor	105
Figura 72. Diagrama sankey	115
Figura 73. Flujos presentes en el horno	115
Figura 74. Esquema energía térmica y eléctrica	116
Figura 75. Mal aislado del plano de rodillos	117
Figura 76. Rodillo sin aislamiento	117
Figura 77. Chicanas	118
Figura 78. Mamparos	119
Figura 79. Techo del horno	119
Figura 80. Chimenea de gases de combustión	121
Figura 81. Chimenea de gases de refrigeración	122
Figura 82. Revisión fugas de gas	123
Figura 83. Detector de fugas de gas	124
Figura 84. Lado motorizado (T)	125
Figura 85. Lado libre (T)	126
Figura 86. Techo del horno (T)	127
Figura 87. Fibra cerámica para aislar	129
Figura 88. Manta cerámica	130
Figura 89. Esquema simple Ciclo Rankine Orgánico	132
Figura 90. Sistema BSR	135
Figura 91. Esquema precalentamiento aire de combustión	136

Figura 92. Esquema de recuperación de calor a los secaderos	137
Figura 93. Intercambiador de placas	138
Figura 94. Esquema de flujo equicorriente	139
Figura 95. Esquema de flujo contracorriente	140
Figura 96. Intercambiadores para precalentamiento de barbotina	141

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Información secadero del horno	56
Tabla 2. Zonas del horno	56
Tabla 3. Información del horno	57
Tabla 4. Consumo de gas natural por hora	67
Tabla 5. Consumo gas natural año 2021	68
Tabla 6. Cromatografía Gas natural (GDO)	69
Tabla 7. División de zonas y módulos	72
Tabla 8. Caudales de los ventiladores	86
Tabla 9. Características motores	86
Tabla 10. Temperatura módulos del horno	93
Tabla 11. Pérdidas de calor por convección en las paredes	106
Tabla 12. Propiedades del aire convección en paredes	107
Tabla 13. Número de nusselt por convección en paredes	107
Tabla 14. Coeficiente de convección	108
Tabla 15. Pérdidas de calor por convección en placa vertical	109
Tabla 16. Pérdidas de calor por convección en el techo	109
Tabla 17. Propiedades del aire convección en techo	110
Tabla 18. Número de nusselt por convección en techo	110
Tabla 19. Coeficiente de convección	111
Tabla 20. Pérdidas de calor por convección en placa horizontal	111
Tabla 21. Pérdidas de calor por radiación	112

Tabla 22. Pérdidas en la chimenea de gases de combustión	113
Tabla 23. Balance de energía	114
Tabla 24. Fluidos de trabajo	133
Tabla 25. Datos técnicos equipo ORC	134

Lista de anexos

	Pág.
Anexo 1. Estructura organizacional	148
Anexo 2. Tabla A-15 propiedades del aire a 1 atm de presión del libro de YUNUS A. CENGEL – AFSHIN J. GHAJAR 4ta edición	149
Anexo 3. Matriz Termográfica	150

Introducción

Cerámica Italia S.A es una empresa Norte Santandereana, con mercado nacional e internacional en países como, Costa Rica, México, Ecuador, dedicada a la producción de revestimientos cerámicos. Cuenta con certificación por parte de organismos como, Organización Internacional de Estandarización-ISO 9001, en cuanto a la gestión de calidad de los procesos de fabricación, y por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas-ICONTEC NTC 919, para la clasificación, características y requisitos de rotulado de las baldosas de la mejor calidad.

El proceso que se utiliza para llegar al producto final se resume en: la planta de tratamiento de agua, preparación de pasta, prensado, secado, preparación de esmaltes, línea de esmaltado, línea de hornos, selección de productos (Para venta nacional o de exportación), empaque (Empaque rojo venta nacional y exportación, empaque verde nacional grado B), almacenamiento y distribución.

La planta de Cerámica Italia para el proceso de cocción cuenta con 6 hornos, 5 hornos monocanal y 1 horno bicanal que se encuentra en proceso de instalación, en donde se centrará el desarrollo del siguiente proyecto, el cual consiste en la Evaluación de la eficiencia energética y alternativas de mejora para solucionar y aprovechar las pérdidas de energía térmica. Para este propósito se hará un estudio general del horno # 5, donde se calcularán las pérdidas de calor y el calor útil, consiguiente a esto se hará un balance energético estudiando las causas de las pérdidas de calor; al tener el balance hecho se mirarán los puntos críticos en el horno estudiando las alternativas de mejora para solucionar las pérdidas de calor y aprovechamiento de la energía térmica que se pierde por medio de las chimeneas.

El desarrollo de este trabajo dará paso a futuras mejoras en los demás hornos de rodillos existentes en la planta de producción de cerámica Italia.

1. Problema

1.1 Título

Evaluación de la eficiencia energética y alternativas de mejora para solucionar y aprovechar las pérdidas de energía térmica del horno de rodillos #5 de la planta de Cerámica Italia en Cúcuta, Norte de Santander.

1.2 Planteamiento del problema

La energía es un bien fundamental para el desarrollo de las actividades cotidianas, así mismo lo es en la planta de producción de Cerámica Italia, por lo cual ésta representa un bien primordial para el desarrollo de todos los procesos de producción y representa un costo importante en cada uno de ellos, ya que la empresa no puede establecer los precios de la energía en el mercado, ni cambiar las políticas de gobierno o economía global, pero sí puede estudiar la forma de tratar de ahorrar energía en cada uno de los procesos de producción de la planta para así contribuir a la mejora y capacidad de competir en el mercado.

Gran parte de la energía consumida en la planta se da en el proceso de cocción ya que manejan 5 hornos monocanal y 1 bicanal que se está instalando, para ello se plantea realizar una evaluación de la eficiencia energética en el horno de rodillos #5, para mirar las posibles fallas en cuanto a pérdidas de energía térmica que generan más costos a la producción de la baldosa cerámica; en cuanto se haya realizado la evaluación determinar los puntos críticos de pérdidas en el horno para así estudiar las posibles alternativas de solución a fugas y aprovechamiento de la energía térmica y así dar paso a futuras mejoras en los demás hornos de rodillos de la planta de Cerámica Italia.

1.3 Formulación del problema

¿Cómo se puede aprovechar la energía térmica no consumida por las piezas cerámicas en el proceso de cocción en el horno de rodillos # 5 para mejorar su eficiencia energética, en la planta de producción de Cerámica Italia en Cúcuta – Norte de Santander?

1.4 Justificación

1.4.1 Desde lo técnico. Mediante el desarrollo de este proyecto se pondrán en práctica los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Mecánica, produciendo así un intercambio entre lo académico y lo laboral.

1.4.2 Desde lo social. El cuidado al medio ambiente por medio del ahorro de energías y entregar productos de mejor calidad y más a la comunidad que lo necesite.

1.4.3 Desde lo económico. La solución al problema de pérdidas de energía térmica, dará como resultado ahorros en el consumo de combustible y disminución de costos de la producción.

1.5 Objetivos

1.5.1 General. Determinar las alternativas que permitan solucionar y aprovechar las pérdidas de energía térmica en el horno de rodillos #5.

1.5.2 Específicos. Realizar una evaluación de la eficiencia energética del horno # 5.

Diagnosticar los puntos críticos de pérdidas de energía térmica.

Formular alternativas para la solución y aprovechamiento de la energía térmica.

1.6 Alcance

Los resultados esperados con la elaboración de este proyecto, serán realizar la evaluación de la eficiencia energética del horno y plantear las alternativas de mejora para este.

1.7 Limitación

El proyecto se limitará a la evaluación de la eficiencia energética del horno y al planteamiento de alternativas de mejora para este, el pasante contara también con recursos limitados tanto humanos como económicos, por lo cual no se implementará ninguna alternativa.

1.8 Delimitaciones

1.8.1 Delimitación espacial. El proyecto se desarrollará en la planta de producción de la empresa Cerámica Italia S.A, Avenida 3 Calle 23 AN, ubicada en Cúcuta, Norte de Santander.

1.8.2 Delimitación temporal. El proyecto se desarrollará en un periodo de 4 meses a partir de la fecha de aprobación del proyecto.

2. Marco referencial

2.1 Antecedentes

En el ámbito internacional se encuentra un estudio (De Verónica Mariana Carrera Espinoza, estudio realizado en Ecuador, 2020) que tenía como objetivo la optimización del horno de rodillos continuo de cocción B&T 3200 en la empresa C.A Ecuatoriana de Cerámica por medio del uso de un sistema alternativo de combustible con gas natural mediante un análisis técnico y ambiental.

Se realizó un balance de energía completo en la zona de cocción del horno trabajando con diésel, en el que se determina el calor aportado por la combustión, de los cuales se entregaba un porcentaje a la eliminación del agua libre del biscocho, otro para las reacciones y otro en pérdidas por paredes y fugas, una vez conocido el calor necesario se calcula el consumo de diésel y el consumo de gas natural y posterior a esto se analizan los gases de efecto invernadero originados.

Tras obtener los resultados del balance de energía de cada uno de los combustibles estudiados, se realizaron las respectivas recomendaciones para la optimización del horno y un mejor funcionamiento de él.

Otro estudio realizado en el ámbito internacional (De S. Ferrer, A. Mezquita, V.M. Aguilera, E. Monfort, realizado en España, 2019), este artículo investigó la aplicación de balances de energía y exergía de un horno industrial de rodillos que quema baldosas de porcelana para identificar los parámetros más críticos que afectan la eficiencia energética del horno y proponer formas de mejorar el rendimiento energético del horno.

Tras realizar las mediciones en el horno y los cálculos termodinámicos confirmaron el bajo rendimiento del horno; el análisis exergético mostró que la mayoría de la exergía de entrada en el

horno se destruye dejando así un porcentaje bajo de exergía la cual se aporta en las transformaciones físico-químicas de la baldosa.

Se identificaron y cuantificaron las principales fuentes de irreversibilidades y se propusieron las medidas adicionales para optimizar la eficiencia energética del horno.

Un estudio realizado por (Yali Wang, Haidong Yang, Kang Kang Xu, realizado en china, 2020) se evaluó el rendimiento térmico de un horno de rodillos, llevando a cabo un análisis detallado de energía y exergía empleando los valores operativos de una fábrica cerámica típica, se realizó un estudio paramétrico que examina los impactos del sistema de enfriamiento del horno de rodillos en el rendimiento térmico, el ahorro de combustible, el ahorro de costos y la influencia ambiental.

Los resultados mostraron que las entradas totales de energía y exergía eran muy bajas, lo que indica la baja eficiencia del horno de rodillos, esta investigación también identifico que la destrucción de exergía es la principal causa de pérdidas de exergía; además mostro que el tiempo de residencia del aire de enfriamiento tiene el impacto principal en el ahorro de costos y la reducción de las emisiones de CO₂, seguido por la masa de enfriamiento y la temperatura del aire de enfriamiento.

En el ámbito nacional se encuentra un informe de sostenibilidad de la empresa Colombiana Corona en 2020, donde uno sus estudios se centró en un análisis de eficiencia energética en sus hornos de rodillos, para así poder conocer cuales eran sus falencias en temas energéticos y posterior a eso sugerir e implementar estrategias para el ahorro y mejor aprovechamiento de sus hornos.

Por factor de las paradas y baja producción debido a la emergencia sanitaria por la pandemia Covid-19, sus ahorros en fuentes de energía fueron bastantes grandes.

Pero al implementar estas estrategias después de los análisis, sus resultados en temas energéticos en el horno fueron los esperados, ya que se reflejó un ahorro considerable tanto en energía térmica y combustible, así como en energía eléctrica gracias a la implementación de energías renovables.

2.2 Marco teórico

2.2.1 ¿Qué es la energía térmica? La energía térmica o también llamada (energía calórica o energía calorífica) es la manifestación de la energía en forma de calor. En todos los materiales los átomos que forman sus moléculas están en continuo movimiento ya sea trasladándose o vibrando.

Este movimiento de las partículas implica que los átomos tengan una determinada energía cinética a la que se denomina calor, energía térmica o calorífica; en cierto modo la energía térmica es la energía interna de un cuerpo.

La energía interna de un sistema termodinámico se puede cambiar de dos maneras: realizando un trabajo en el sistema y mediante el intercambio de calor con el medio ambiente; la energía que el cuerpo recibe o pierde en el proceso de intercambio de calor con el medio ambiente se denomina cantidad de calor o simplemente calor.

(Oriol Planas, Ingeniero técnico industrial, 2009)

2.2.2 Mecanismos de pérdidas de energía térmica. El calor en un cuerpo se puede perder por diferentes factores como lo son la convección, radiación y conducción, y se pueden explicar de la siguiente manera:

Convección: Consiste en un transporte de energía calorífica con transporte de materia (Por tanto, precisa también la presencia de materia). Este proceso es típico de los fluidos y se considera

consecuencia de una diferencia de temperatura que origina diferencias de densidad de unos puntos a otros, ya que la densidad es función de la temperatura, $\rho(T)$, que en presencia de un campo gravitatorio origina las corrientes de convección.

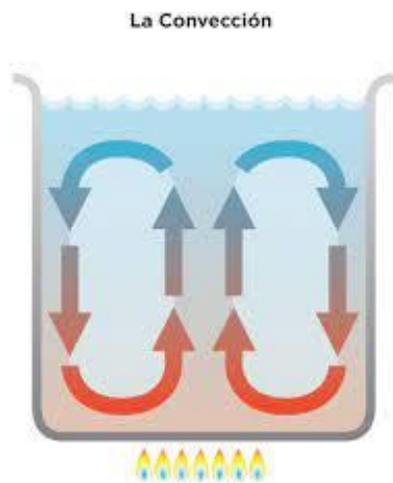


Figura 1. Pérdida de calor por convección

Fuente: (Education development center, 2014)

Radiación: Consiste en un transporte de energía calorífica que puede tener lugar tanto en presencia de materia como en ausencia de esta (en el vacío). No exige, en consecuencia, la presencia de materia. Este proceso tiene carácter de onda electromagnética térmica; es decir, cualitativamente es una onda electromagnética (que en el vacío se propaga a la velocidad de la luz), y de manera concreta de un determinado rango de frecuencias. La emisión tiene lugar en todas las direcciones y al incidir en un cuerpo este puede actuar reflejándola, absorbiéndola (con aumento de la energía interna, incremento de la temperatura) o transmitiéndola. Se denomina radiación térmica a la que resulta exclusivamente de la temperatura (puede haber radiación debido a bombardeo de electrones o descargas eléctricas, etc.)

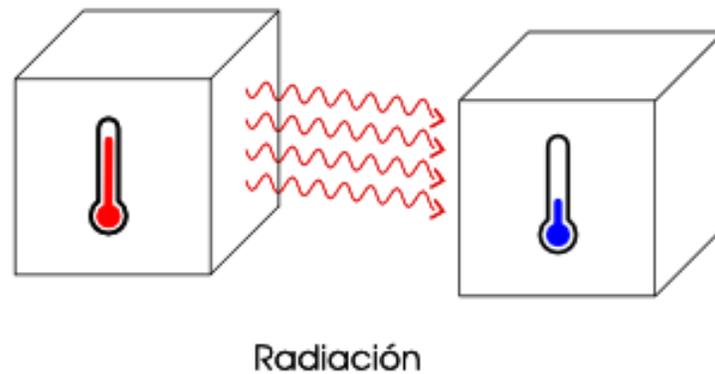


Figura 2. Pérdida de calor por radiación

Fuente: (The trekking life, 2012)

Conducción: Consiste en un transporte de energía calorífica sin transporte de materia, pero en presencia de esta; es decir, tiene lugar en los cuerpos, exige la presencia de materia. Este proceso es típico de los sólidos y se considera consecuencia de la agitación térmica:

De los fonones (cuanto de energía de las ondas elásticas o de vibración de las redes interatómicas; caso de los sólidos no metálicos)

De los electrones libres (sólidos metálicos)

De las moléculas (en los fluidos)

En este último caso de los fluidos es imposible separar el proceso de conducción del proceso de convección, propio de los fluidos.

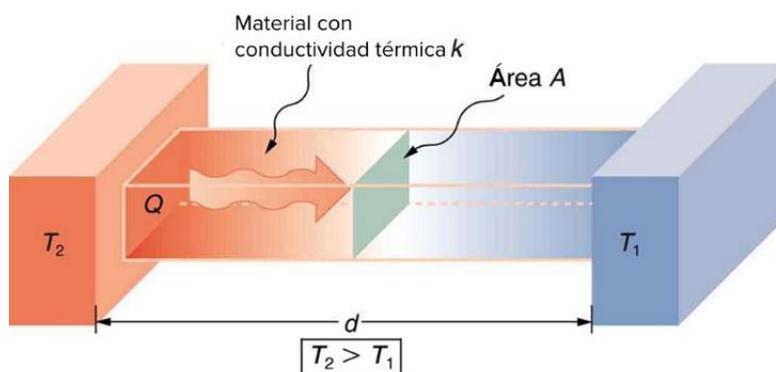


Figura 3. Pérdida de calor por conducción

Fuente: (Openstax College Physics)

2.2.3 Principio de conservación de la energía. También conocido como el primer principio de la termodinámica, establece que la cantidad total de energía en un sistema físico aislado (es decir sin interacción alguna con otros sistemas) permanecerá siempre igual, excepto cuando se transforme en otros tipos de energía.

Emisión: Todos los cuerpos emiten un espectro continuo de longitudes de onda (dispersión = análisis de las distintas longitudes de onda, λ de los cuerpos).

Transporte: Con o sin presencia de materia

Recepción: La energía radiante, al chocar con un cuerpo, es absorbida, reflejada y transmitida en proporciones variables según la naturaleza del cuerpo.

El emisor convierte parte de su energía interna en ondas electromagnéticas.

La parte de energía radiante incidente absorbida por la superficie del cuerpo, se transforma en un aumento de su energía interna y por tanto en un aumento de su temperatura. La absorción de

radiación es un fenómeno superficial y no un fenómeno de volumen de forma que en el interior del sólido no afecta la absorción; sin embargo, el calor generado en la absorción puede fluir hacia el interior del sólido por conducción.

(aq.upm.es Departamento de física)

2.2.4 Exergía. El primer principio de la termodinámica dice que la energía se conserva en cualquier proceso y que no se puede crear ni destruir; la energía que acompaña a un combustible, o a los flujos de materia, etc. Se puede localizar y determinar en los productos resultantes, pero el principio de conservación de la energía no aclara otros aspectos relativos a la utilización de los recursos energéticos.

La exergía es la porción de la energía que puede ser transformada en trabajo mecánico, eléctrico, etc. La otra parte restante sin utilidad práctica, recibe el nombre de anergia.

La exergía es un parámetro que mide la calidad de la energía, este parámetro puede emplearse para analizar la eficiencia energética de los procesos industriales, con un análisis de exergía pueden compararse diferentes alternativas para comprobar cual tiene el mayor rendimiento energético, sin embargo, no proporciona soluciones por sí misma, ya esto se determinaría implementando las alternativas y mirando cuál de ellas es la verdadera solución a la problemática.

El segundo principio de la termodinámica establece limitaciones en cuanto a la cantidad de trabajo que se puede realizar, pero existe además una limitación práctica en cuanto a que solo se puede realizar trabajo si el sistema almacena una energía respecto al ambiente que lo rodea. La exergía determina de forma cuantitativa el valor termodinámico de cualquier proceso y permite analizar rigurosamente el desperdicio de los recursos en las actividades diarias, estableciendo pautas para su ahorro y uso eficiente.

La exergía se puede destruir a causa de las irreversibilidades y también se puede transferir hacia y desde un sistema; el uso eficiente de los recursos energéticos va asociado a la destrucción y pérdida de exergía en los sistemas, siendo el objetivo del análisis exergético el localizar, cuantificar e identificar estas causas. La exergía es por tanto el trabajo teórico máximo que se puede obtener cuando el sistema cerrado evoluciona desde un estado inicial dado hasta su estado muerto, interaccionando solo con el medio ambiente.

(Rene Alejandro Mora Casal, Dr. Ingeniería Química, 2015)

2.2.5 Máquinas Industriales térmicas. Una máquina térmica es un dispositivo cuyo objetivo es convertir el calor en trabajo, para ello se utiliza de una sustancia de trabajo (vapor de agua, aire, combustible) que realiza una serie de transformaciones termodinámicas de forma cíclica, para que la máquina pueda funcionar de forma continua. A través de dichas transformaciones la sustancia absorbe el calor (normalmente de un foco térmico) que lo transforma en trabajo.

Uno de los ejemplos más claros a la hora de hablar de máquinas térmicas se encuentra en las centrales eléctricas sean (térmicas, termo solares o nucleares) que usa la máquina de vapor para generar energía productiva a través de la energía térmica, estas máquinas de vapor se conforman por cuatro elementos básicos: una bomba, una caldera, la turbina y un condensador.

En la industria de producción de baldosas cerámicas una de las máquinas que más produce energía térmica es el horno industrial de rodillos para la cocción de las baldosas.

(Teresa Martin y Ana Serrano, Universidad politécnica de Madrid)

2.2.6 Hornos de rodillos. Los hornos de rodillos constan de un sistema transportador refractario, los cuales transportan producto a través de un túnel caliente, sin usar sistema de carros. El producto se coloca de forma directa sobre el sistema transportador o en charolas de soporte.

El túnel se va poniendo cada vez más caliente a medida que se va avanzando hacia la mitad del equipo, con el fin de crear el perfil de temperaturas al contar con distintos niveles de temperatura en distintas secciones del horno.

Este tipo de hornos es ideal para brindar cocción rápida a productos o piezas brindando una excelente consistencia a las mismas.

Los hornos de rodillos transportan las cargas a lo largo del proceso de cocción mediante el uso de rodillos. El producto se carga directamente en los rodillos o puede ser transportado en placas.

Estos hornos se suministran con muflas de gas o de llama directa, con modelos de GLP también disponibles.

Actualmente el alto grado de automatización que proporciona un horno de rodillos es una ventaja importante, ya que sus sistemas de manejo y configuración de equipos asociados son ideales para contar con ciclos de producción rápidos y procesos de flujo rápido.

(Nutec Bickley)

2.2.7 Tipos de hornos de rodillos. En la industria de la producción de baldosas cerámicas existen dos tipos de hornos que son los más utilizados a la hora de la cocción, como los son los hornos de rodillos monoestrato o monocanal y los hornos de rodillos bicanal.

Horno de rodillos monoestrato o monocanal: Este podría describirse como un largo canal interior, en torno a los 80 a 100 metros de longitud, en cuyo centro tiene insertada una fila de rodillos de pequeños diámetros que atraviesan toda la anchura del canal. Dichos rodillos sirven de apoyo y movimentación del producto dentro del horno.

De esta forma atraviesa en un corto espacio de tiempo toda la longitud del horno, por lo tanto, reduciendo el tiempo de cocción y enfriamiento del producto; la altura del canal será por lo tanto muy escasa, lo suficiente para que la atmósfera del canal pueda calentar las piezas cerámicas.

(J. Uche J. Marín, Dto Ing. mecánica Universidad de Zaragoza, 2002)



Figura 4. Horno de rodillos monoestrato

Fuente: (SACMI IMOLA S.C)

Hornos de rodillos bicanal: Diseñado para mejorar la relación hombre – máquina, facilita, no solo el montaje del horno si no también eventuales operaciones de mantenimiento y regulación. La bóveda de separación entre los dos hornos está realizada con barras de (carburo de silicio infiltrado con porosidad cero), esto hace que la estructura esté exenta de problemas de oxidación y sea muy resistente a las bruscas variaciones de temperatura causada por los vacíos en el horno.

Los refractarios especiales utilizados para el aislamiento aumentan la duración de la construcción del horno.

En la zona de paso de rodillos los tubos perforados de sujeción han sido sustituidos por perfiles que permiten simplificar la operación, las cámaras de cocción de ambos canales han sido elevadas, minimizando de este modo la posibilidad de interferencias entre la llama de los quemadores y las baldosas en tránsito, ya que tiene doble cámara su producción se duplica comparado con un horno de rodillos monoestrato.

(SACMI IMOLA S.C)



Figura 5. Horno de rodillos bicanal

Fuente: (SACMI IMOLA S.C)

2.2.8 Mecanismos de pérdidas de calor en los hornos de rodillos. En los hornos de rodillos empleados en la producción de baldosas cerámicas, como en cualquier otra máquina industrial generadora de energía térmica, se generan unas pérdidas de calor, las pérdidas que se pueden encontrar en los hornos son:

Pérdidas por convección: Se presenta en el flujo de calor entre el fluido (calor) y la baldosa, tanto desde el fluido a la baldosa, por estar el primero a mayor temperatura, como en sentido contrario si la temperatura del fluido es menor.

La transferencia de calor mediante este mecanismo estará influenciada por

La libertad de movimiento del fluido y por su densidad, así cuanto más denso y más libertad de movimiento tenga el fluido, más efectivo será la transferencia de calor por este mecanismo.

Pérdidas por radiación: Su mecanismo de transferencia en el horno no necesita un medio de transporte, si no que este opera en el vacío, por lo cual se transmite su calor por fuera de las paredes del horno, y al estar cerca del horno el calor emitido por éste es la radiación emitida por el proceso de combustión.

Pérdidas por fugas: Estas pérdidas generadas en la estructura del horno, se dan por medio de lugares donde se genera una energía térmica bastante fuerte y allí no se encuentra un aislante que detenga la salida de este calor por medio de ese orificio el cual no está cubierto, un ejemplo claro de esto se genera en la entrada y salida del horno la cual debe permanecer abierta para el ingreso y salida de las baldosas cerámicas.

Pérdidas por chimeneas: Es la cantidad de calor que es liberada al ambiente en forma de gases de escape y no es utilizada en ningún proceso.

2.2.9 Planta de producción cerámica. Una planta de producción industrial de cerámica, se puede definir como el proceso que se realiza para llevar a cabo la transformación de unas materias primas (como la arcilla) al punto tal de convertirlas en un producto muy apetecido en los mercados nacionales e internacionales como lo es la baldosa cerámica, cumpliendo dentro de esta

transformación unos procesos específicos tales como: molienda, conformado, secado, esmaltado y cocción, para finalmente ser distribuido en las salas de ventas para su final consumo por parte de los clientes.



Figura 6. Planta de producción de Cerámica Italia, Cúcuta – Norte de Santander.

Fuente: (Jairo Jesús Visbal, 2019)

2.2.10 Proceso de fabricación de la cerámica. El proceso de fabricación cerámica, se encarga de la transformación de materias primas, en productos de revestimiento cerámicos.

En el proceso se pueden distinguir varias etapas conectadas entre sí, las cuales a través de diversos procesos transforman la materia prima en el producto final.

Las etapas en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas se pueden resumir:

Preparación de la composición

Preparación de la pasta

Atomizado

Prensado y secado

Esmaltado y decoración

Cocción

Clasificación y embalaje

Estos procesos deben estar muy bien supervisados ya que, si algo falla en alguno de los procesos, esto afecta las etapas posteriores y el resultado final, conllevando esto a un producto con características no deseadas.

Preparación de la composición: Este proceso comienza con la selección de las materias primas que se van a utilizar en la composición y estableciendo la proporción que se emplea de cada una de ellas, realizando formulaciones, pesajes, dosificaciones, etc. Fundamentalmente son: arcillas, feldespatos, caolines, arenas, etc.

Preparación de la pasta: Consiste en tener una mezcla homogénea, un tamaño de partícula adecuado y condicionarla para moldear la pieza correctamente.

Es de gran importancia el tamaño de las partículas, ya que influye en el conformado de la pieza, la velocidad de secado y la superficie de contacto entre las partículas, lo cual lleva a condicionamientos de las propiedades fisicoquímicas finales.

Una vez realizada la primera mezcla de los distintos componentes de la pasta, el siguiente paso es la molturación la cual se puede hacer por vía húmeda o seca.

La molturación por vía húmeda se realiza con molinos de bolas continuos o discontinuos, proporciona una mayor homogeneización de los componentes, un menor tamaño de partícula (menor de 200 micras), un mejor control de las variables del proceso y unas mejores características del polvo de prensas lo que supone un aumento en la calidad del producto final con respecto a la molturación por vía seca. Esta técnica es utilizada para la producción de gres porcelánico y gres esmaltado.

En el caso de la molturación por vía seca, se realiza con molinos de martillo o pendulares y el coste de producción es inferior al de por vía húmeda. Se produce una fragmentación manteniéndose los agregados y los aglomerados de partículas lo que provoca que el tamaño de las partículas sea superior al obtenido por vía húmeda (existen partículas mayores a 300 micras). Se utiliza en la producción de baldosas donde los requisitos de calidad y estabilidad dimensional no son tan exigentes.

El procedimiento más utilizado en la fabricación de revestimiento cerámico por mono cocción debido a las importantes mejoras técnicas que supone, es el de vía húmeda y posterior secado de la suspensión resultante por atomización.

El resultado es un producto molturado en forma de suspensión denominada barbotina el cual pasa por un proceso de eliminación de una parte del agua que contiene hasta alcanzar el contenido en humedad necesario para cada proceso. El secado por atomización es el método que más se emplea en la fabricación de revestimientos cerámicos.

El siguiente proceso a desarrollar es la atomización, la cual consiste en secar la barbotina obtenida para obtener aglomerados esféricos huecos de partículas, denominados gránulos de atomizados. Estos tienen un contenido de humedad controlado y una forma y tamaño idóneo para que fluyan en la siguiente fase de conformado, el resultado se califica como polvo atomizado.

El proceso se divide en:

Bombeo y pulverización de la suspensión

Generación y alimentación de los gases calientes

Secado por contacto gas caliente-gota suspensión

Separación del polvo atomizado de los gases

La ejecución de este proceso conlleva grandes ventajas que favorecen el desarrollo de las posteriores etapas del proceso de fabricación, una de ellas es que se obtienen gránulos más o menos esféricos con huecos y muy uniformes, lo que hace más fácil realizar operaciones de prensado.

El último proceso de esta etapa es el amasado, el cual consiste en el mezclado con agua de las materias primas de la composición de la pasta, siendo el resultado una masa plástica que se puede moldear fácilmente.

Conformación de las piezas: Esta etapa se compone de dos procesos: el prensado en seco y secado.

El prensado en seco es un procedimiento de formación de pieza que funciona por acción de una compresión mecánica de la pasta en el molde y es uno de los métodos más asequibles de la elaboración de productos cerámicos de geometría regular.

Esta operación se realiza con prensas hidráulicas, ya que son las más indicadas para controlar el ciclo de prensado, la potencia que se utiliza depende del tamaño de las piezas, y destaca por tener estas características:

Elevada fuerza de compactación

Alta productividad

Facilidad de regulación

Un tiempo del ciclo de prensado constante

Las principales ventajas de utilizar el prensado son:

Altos niveles de producción con mínima mano de obra

Facilidad de secado de las piezas prensadas

Mínima deformación de las piezas en operaciones posteriores

Llega a la zona del secado, este procedimiento tiene como objetivo reducir el contenido de humedad de las piezas para el correcto desarrollo de las fases posteriores de esmaltado y cocción.

Las piezas se introducen en un secadero que puede ser vertical u horizontal en donde se ponen en contacto en contracorriente con gases calientes.

En los secaderos verticales, las piezas se establecen en planos metálicos y formando cestones que se mueven dentro del secadero verticalmente entrando en contacto con los gases calientes. La temperatura en este tipo de secaderos suele ser inferior a 200°C y los ciclos de secado son de entre 35 y 50 minutos.

Los secaderos horizontales, son de tipo horno monoestrato de rodillos, en éste caso las piezas se mueven por encima de los rodillos en horizontal y el aire caliente con el que entran en contacto viene de quemadores que están en los laterales del secador. La temperatura máxima de este tipo de secadores está en los 350°C y los ciclos de secado son menores, entre 15 y 25 minutos.

Esmaltado y decoración: El esmaltado es un tratamiento que se utiliza para otorgar una serie de propiedades técnicas y estéticas como la impermeabilidad, facilidad de limpieza, brillo, color, resistencia química y mecánica, etc.

La capa resultante es esencialmente vítrea, aunque en muchas ocasiones surgen elementos cristalinos en su estructura.

Los esmaltes son capas delgadas y continuas que se han obtenido de mezclas de materias primas, la sílice es su componente principal, como elementos fundentes están los alcalinos y como colorantes están el hierro, cromo, etc.

Las fritas se obtienen por un proceso continuo y automatizado basado en la selección, dosificación, mezcla, transporte e introducción en un horno de fusión a temperatura elevada, después se realiza un proceso de enfriamiento rápido de mezclas predeterminadas de materias primas.

Debido a las altas temperaturas la composición se funde completamente y va recorriendo el horno, por la fuerza de gravedad sale al exterior y se recoge sobre agua a temperatura ambiente, este choque térmico hace que tenga ese aspecto tan característico de vidrio roto.

El engobe es un tipo de esmalte que se aplica entre el soporte y el esmalte debido a que la naturaleza química de estos es diferente, de esta forma hay una composición química intermedia entre ambos.

Las principales funciones son:

Crear una capa entre el esmalte y el soporte que permitan que se acoplen adecuadamente ambos.

Ocultar el color del soporte para que queden bien las decoraciones y el esmalte.

Igualar o eliminar las irregularidades del soporte.

Hacer una capa impermeable para no tener problemas de porosidad.

Los procesos de decoración utilizados en la fabricación de baldosas cerámicas han ido cambiando en los últimos años.

Esto ha sido tanto por la necesidad de lanzar al mercado productos con nuevos acabados estéticos y de mejorar la competitividad de las empresas como por factores económicos que impulsan a la obtención de productos de alta calidad a menor coste.

La serigrafía es el método más empleado para la decoración de baldosas cerámicas por su facilidad de aplicación en las líneas de esmaltado, se usa en mono cocción, bicocción y tercer fuego.

Cocción: Dentro del proceso de producción es la etapa más importante ya que es el momento en el que las piezas tienen una gran transformación, dando como resultados piezas con grandes características como gresificación, dureza, estabilidad dimensional, etc.

Las variables fundamentales que hay que considerar en esta etapa son el ciclo térmico y la atmósfera del horno, que deben adaptarse a cada composición y tecnología de fabricación, dependiendo del producto cerámico que se desea obtener.

Este proceso consiste en hacer pasar las piezas por un ciclo térmico, en el cual se producen cambios en su microestructura y les proporciona las propiedades finales deseadas, dentro de este proceso se encuentran dos etapas:

La etapa de calentamiento abarca entre el 55 y 60% de la longitud del horno, el calentamiento de las piezas se inicia de forma lenta, con el objetivo de eliminar el exceso de humedad y extraer los humos producidos en la combustión, a continuación, tiene lugar el aporte energético, gracias al cual se produce la oxidación de la materia orgánica y de las impurezas, se eliminan los productos gaseosos generados en ella y se descomponen los carbonatos en el soporte.

La etapa de cocción en sí, es el momento en el que se produce la sinterización de las piezas, el soporte al irse calentando empieza a producir una fase vítrea si son composiciones de gres o fases cristalinas estables si son composiciones de azulejos o revestimientos; la mezcla de materias primas se transforma en una estructura química compleja.

El tiempo que debe permanecer en esta etapa tiene que ser lo suficientemente largo para que la pieza pueda sufrir la vitrificación completa y asegurar la estabilidad dimensional del producto (alcanza temperaturas de 1100 a 1200°C).

La etapa de enfriamiento abarca entre el 40 y 45% de la longitud del horno y consta de 3 etapas:

Enfriamiento directo, que es cuando se le inyecta aire ambiente directo a la pieza.

Enfriamiento indirecto, se genera por medio de unos intercambiadores de calor para no tocar la pieza (transformación alotrópica del cuarzo)

Enfriamiento final, se inyecta aire ambiente, pero de igual forma se succiona para sacar el aire caliente.

Mono cocción y bicoccion, los materiales cerámicos pueden pasar por una cocción o varias dependiendo de los que se busque, a las baldosas no esmaltadas solo se les aplica una cocción, sin son baldosas esmaltadas, pueden someterse a la mono cocción (cuando solo se cuece una vez después de la aplicación de esmalte) o someterse a la bicoccion (cuando se cuece una primera vez para obtener el soporte, al que se aplica el esmalte y luego se hace otra cocción). Hay algunos casos donde se realiza una tercera cocción a menor temperatura como en los materiales decorados.

Tratamientos adicionales: La búsqueda de innovar y crear nuevos productos ha dado lugar a nuevos tratamientos de la pieza una vez cocida como:

El pre-corte

Pulidos superficiales

Rectificados

Biselado

Eliminación de las juntas laterales

Clasificación y embalado: Es la última etapa del proceso de fabricación, anteriormente este proceso se hacía de forma manual y visual por los operarios.

Hoy en día, los controles de calidad final se realizan mediante sistemas automáticos con equipos mecánicos y visión superficial de las piezas que pueden medir y controlar los parámetros requeridos para una clasificación total de las piezas.

Para finalizar se realiza el envasado, paletizado y etiquetado.

(Construmatica s.f)

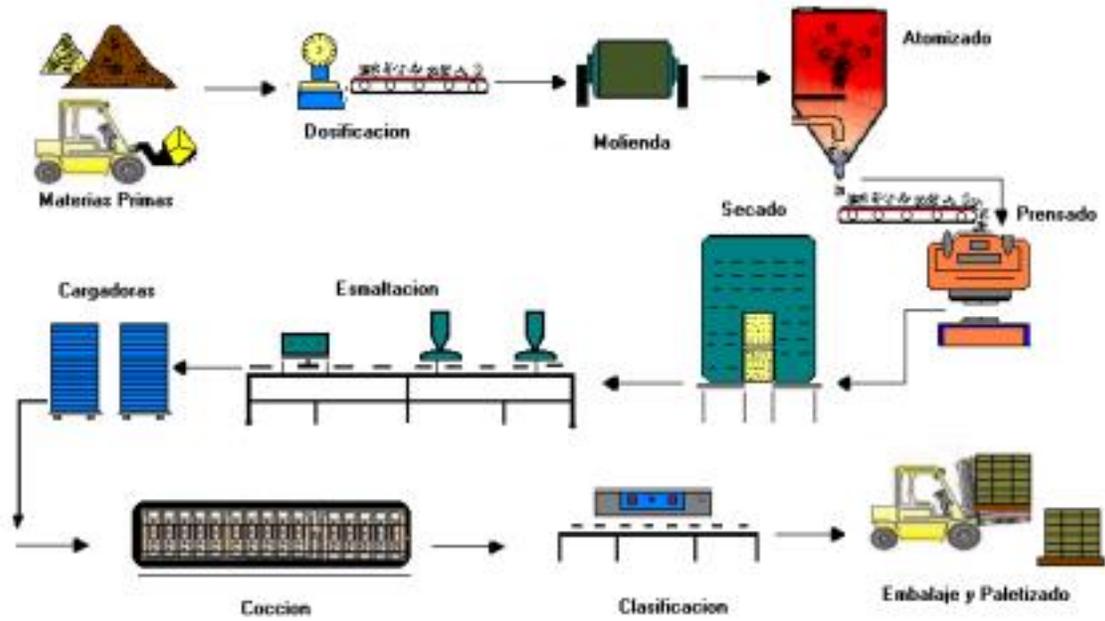


Figura 7. Proceso de fabricación de la cerámica

Fuente: (C.A Ecuatoriana de Cerámica, 2019)

3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de investigación

El cual se basa en los estudios descriptivos en búsqueda de especificar las propiedades, características y perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos o cualquier otro fenómeno que pueda ser sometida a un estudio o análisis.

(Hernández, Fernández y Baptista, 2014)

Con el objetivo de cumplir con todas las expectativas presentadas en este proyecto se escoge el tipo de investigación descriptiva.

3.2 Fuentes de información

3.2.1 Fuentes primarias. Esta fuente de información primaria es aquella que contiene información original, aportan información directa que aún no ha sido interpretada o filtrada.

(Universidad de Guadalajara)

En este caso por haberse escogido como tipo de investigación la investigación descriptiva, la fuente de información primaria en la que se basará el estudio, será la observación directa y la suministrada por la empresa.

3.2.2 Fuentes secundarias. Las fuentes secundarias en la que se basara el estudio en el transcurso de este proyecto serán informes, manuales, datos y de los operarios del horno.

3.3 Técnicas de recolección de datos

La recolección de datos se refiere al uso de una gran variedad de técnicas y herramientas que se utilizan para recopilar, reunir o recoger cierta información necesaria para generar con ello un conocimiento. (Tesis y masters).

Los datos necesarios para poner en marcha el estudio en el horno, se obtendrán por medio de instrumentos de medición (pirómetro, anemómetro, etc.) y con entrevistas a los operarios del horno de forma directa e indirecta, ya que tienen bastante conocimiento en el tema.

3.4 Análisis de datos

Para proceder con el análisis de datos se reunirán estudios, informes y documentos existentes presentes en la empresa sobre la problemática a estudiar, con el propósito de tener un concepto más detallado del problema, para así poder tomar las mejores acciones pertinentes a la hora del estudio y del planteamiento de las alternativas de mejora en la problemática presentada.

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población. Planta de Producción de Cerámica Italia S.A

3.5.2 Muestra. Hornos de rodillos y datos obtenidos por la empresa Cerámica Italia S.A

3.6 Metodología

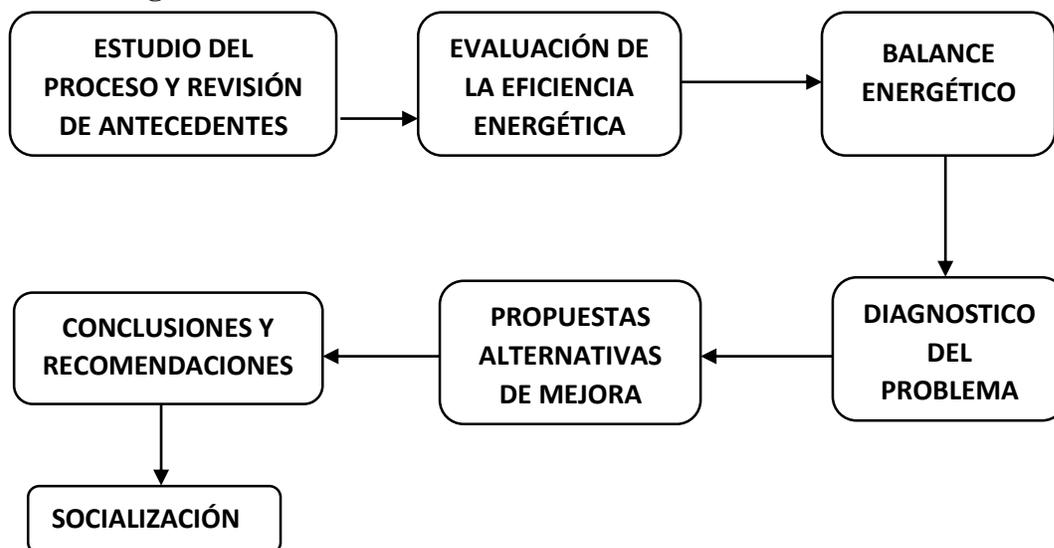


Figura 8. Metodología

4. Cerámica Italia S.A

En los años 70 comisiones internacionales llevaron a cabo estudios de caracterización de las arcillas de la región de Norte de Santander, gracias a estos estudios se pudo identificar las arcillas rojas tipo caolítica y lítica, que presentan propiedades aptas para la producción de revestimiento de alta calidad a través de procesos sencillos y con menor uso de aditivos industriales, este resultado se presentó como una oportunidad clara para la generación de un proyecto dirigido a aprovechar los beneficios de estos recursos naturales, en una cadena productiva eficaz y de alto desempeño.

El 17 de junio de 1983 se consolida en San José de Cúcuta la idea de un grupo de empresarios locales de fabricar una baldosa esmaltada que diera un vuelco total a la fabricación tradicional de baldosas; inaugurada por el entonces presidente Belisario Betancourt.

En el transcurso de su historia, la planta de revestimiento cerámico ha crecido de forma constante, pasando de una capacidad de un millón de metros cuadrados en el año 1985 a cerca de doce millones de metros cuadrados en la actualidad, la compañía ha tenido una constante evolución basada en una planta de producción moderna y vanguardista, de alta tecnología, acompañadas de un proceso de producción eficiente, el cual se complementa con un gran número de empleados que convierten la firma cucuteña en líder de su ramo en Sudamérica.

La planta de producción de CERÁMICA ITALIA S.A se actualiza de forma permanente con las más avanzadas tecnologías y su equipo humano se encuentra constantemente capacitado en los últimos adelantos de la industria.

4.1 Misión

Fabricar y comercializar productos de revestimiento cerámico con calidad, innovación y diseño que generan felicidad y confort en los ambientes, creando una experiencia memorable en los consumidores a través de un desarrollo sostenible, con captura y generación de valor a nuestros colaboradores, aliados y accionistas.

4.2 Visión

Para este 2022 aumentara las ventas en el mercado nacional en un 32% respecto al año 2019, manteniendo nuestro liderazgo en innovación y diseño.

Lograr que el EBITDA sea un 13% de las ventas.

Ser reconocidos como una empresa que apalanca el crecimiento personal y profesional de nuestros colaboradores.

Aumentar la participación en ventas de la marca CERÉMICA ITALIA S.A en el exterior en un 20% respecto al año 2019.

Posicionar la marca CERÉMICA ITALIA S.A desde la coherencia, integridad y pasión en cada acción realizada con nuestros aliados estratégicos y clientes.

4.3 Propósito

Construir un mejor hogar para ti.

4.4 Estructura organizacional

La estructura organizacional se describirá más detalladamente en el anexo 1.

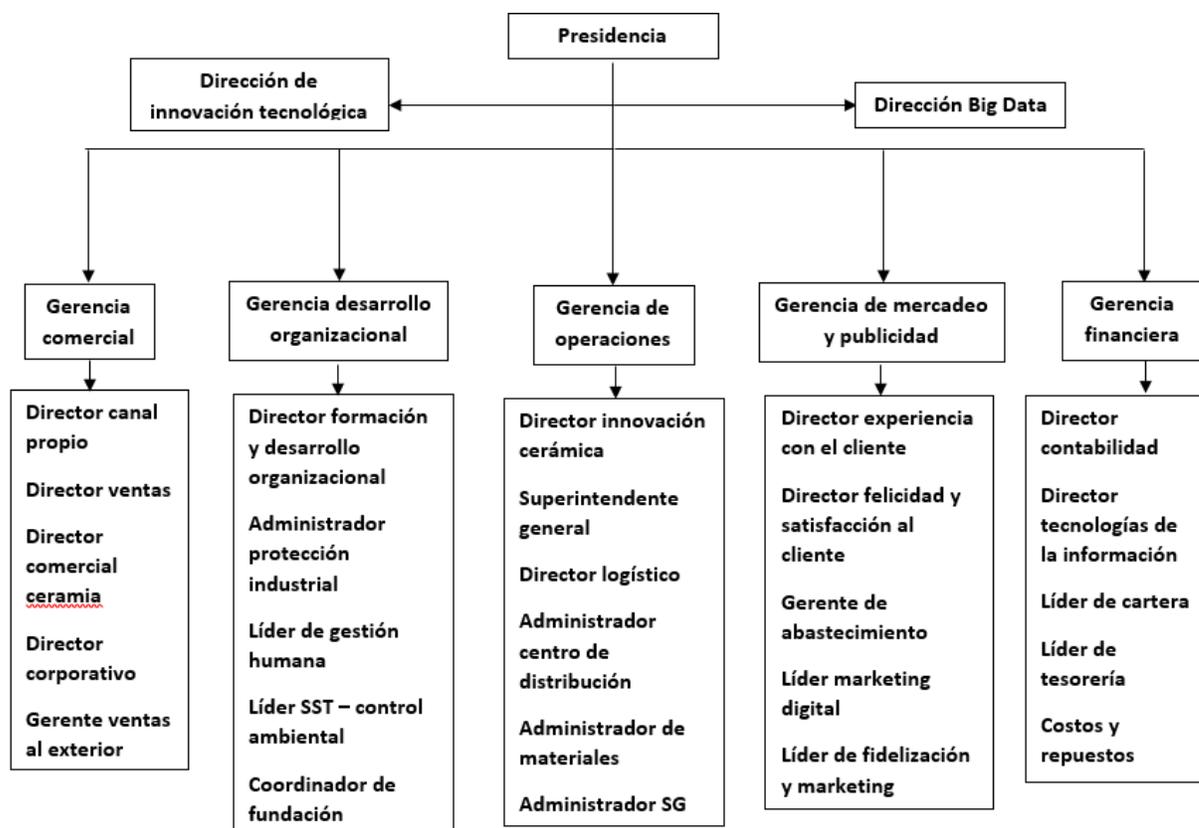


Figura 9. Estructura organizacional de CERÁMICA ITALIA S.A

Fuente: Cerámica Italia S.A

5. Horno de rodillos # 5 SACMI FMS 2600

Los tipos de hornos usados en la industria cerámica son: horno colmena, Hoffman, túnel, horno de rodillos, etc.

El siguiente proyecto se centrará en el estudio del Horno de Rodillos # 5 SACMI FMS 2600, de la planta de producción de Cerámica Italia, ubicada en Cúcuta – Norte de Santander.



Figura 10. Horno de Rodillos # 5 SACMI FMS 2600

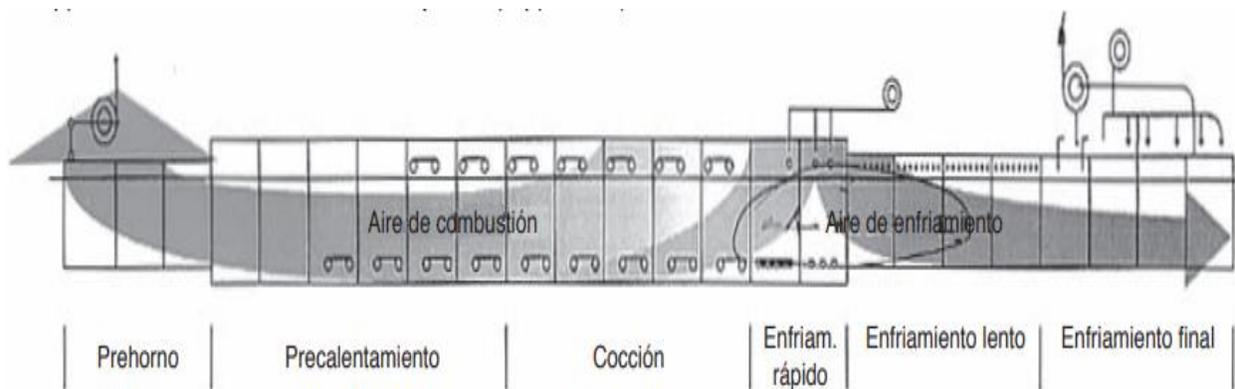


Figura 11. Esquema del horno

Fuente: (Tecnología Cerámica aplicada Vol. 2 - SACMI)

De acuerdo con las reacciones que deben desarrollarse a las diferentes temperaturas y a la realización estructural del horno, es entonces posibles describir esta máquina térmica mediante la siguiente esquematización:

5.1 Prehorno

Es la zona de entrada de las baldosas al horno, destinada a la eliminación del agua higroscópica residual del proceso de secado, la humedad máxima aceptable es de 2% en peso, esta sección no está dotada de un equipo de calentamiento autónomo, los humos proceden de la cocción aspirados por el ventilador instalado en el Prehorno.

El Prehorno trabaja en el intervalo de temperatura de (200 a 500°C) teniendo en cuenta el ciclo rápido y la endotermia de la evaporación, el material presenta una temperatura de (50 a 200°C).

5.2 Pre calentamiento

Es la fase del proceso dedicada a la desgasificación del cuerpo cerámico, el intervalo de temperatura que le compete está condicionado en gran medida por la tipología del producto a cocer, y aún más por la tipología del esmalte más o menos fundente, las temperaturas de trabajo pueden estar de entre los 500 a 1000°C.

Otra función del pre calentamiento es la de acompañar la transformación alotrópica del cuarzo α en cuarzo β , sin que se produzcan roturas por un exceso de tensiones durante el fuerte aumento de volumen del cuerpo cerámico.

La sección vertical del pre calentamiento esta aumentada con respecto al Prehorno y el dimensionado de los módulos es mayor para albergar un aislamiento de mayor espesor.

5.3 Cocción

Se trata de la zona de máximas temperaturas, a partir de aproximadamente 1000°C, con relación a la calidad del aislamiento térmico las paredes presentan ladrillos de tipo refractarios aislantes, con características refractarias muy destacadas y fibras aislantes para complementar el aislamiento.

Hay que tener en cuenta que para adecuar de forma óptima el aislamiento a las temperaturas de la zona de 1100 a 1250°C se utilizan 3 niveles diferentes de aislamiento, esto es necesario para el funcionamiento no crítico del horno.

Es casi exclusivamente en la zona de cocción donde la baldosa adquiere las características finales de dimensión, planaridad, gresificación y desarrollo del esmalte, por lo cual es necesario el buen control de las temperaturas, para controlar y gestionar la influencia de la zona contigua de enfriamiento rápido, la zona de cocción termina con una doble barrera física constituido por un muro transversal y por placas de fibra aislante.

5.4 Enfriamiento directo

Se trata de zona entre la máxima temperatura de cocción y los 600°C, sirve para enfriar las baldosas lo más rápidamente posible hasta temperaturas netamente por encima de la transformación alotrópica del cuarzo. Esta fase del proceso de cocción, por la impresionante velocidad de reducción de temperatura y la reconducción al estado sólido del soporte y el esmalte, es sin duda bastante crítica para las baldosas.

La instalación para el enfriamiento rápido, está constituida esencialmente por tubos de soplado integrados en la pares por encima y por debajo del plano de rodillos, los cuales por medio de perforaciones permiten distribuir de manera homogénea el aire para el enfriamiento de las baldosas, la temperatura en la zona de enfriamiento directo está controlada por un termopar por encima y debajo del plano de rodillos, el aislamiento en las paredes están elaborados con ladrillos refractarios aislantes delante del canal de cocción y fibras aislantes en un segundo orden. Los espesores son reducidos debido a que se baja la temperatura en esta zona.

5.5 Enfriamiento indirecto

Es la fase del proceso de cocción dedicada a la delicada transformación alotrópica del cuarzo β en cuarzo α . El acontecimiento comporta una fuerte disminución volumétrica del cuerpo cerámico, la cual debe desarrollarse con lentitud y de forma gradual.

El intervalo de temperatura está comprendido entre 600 – 450°C, a lo cual corresponden temperaturas reales de la baldosa de entre 700 y 500°C. El enfriamiento se da mediante tubos intercambiadores de calor transversales en la bóveda del horno, por los que un ventilador hace circular aire ambiente, el sentido de circulación del aire de alterna.

El aislamiento de la bóveda esta realizado por placas rígidas de fibra cerámica ancladas en la estructura de los módulos, la zona acaba con una doble barrera transversal al horno a una distancia cercana, ambas barreras están constituidas por placas de metal introducidas en las aberturas correspondientes en la bóveda. Estos seccionamientos tienen el objetivo de controlar el tramo en contracorriente con la carga de los grandes volúmenes de aire provenientes del enfriamiento final.

5.6 Enfriamiento final

Es la última fase del proceso de cocción y tiene la función de reducir al máximo el calor latente del producto que ya ha superado el punto crítico de la retransformación del cuarzo. Está equipada de un sistema de soplado de aire ambiente directo por encima y debajo del plano de rodillos, un segundo ventilador extrae de la cámara de paso el aire que se ha calentado en contacto con el producto mediante tomas en la bóveda.

(Tecnología Cerámica aplicada Vol. 2 - SACMI)

5.7 Características del horno

El horno se divide en un secadero instalado en el inicio de él y la zona principal donde se realiza la cocción.

Tabla 1. Información secadero del horno

CARACTERÍSTICAS DEL SECADERO HORNO # 5	
CONSTRUCTOR	SACMI FORNI - ITALIA
TIPO DE MÁQUINA	JMS 260 / 10.5
N. DE SERIE	151213
AÑO DE FABRICACIÓN	2006
TIPO DE COMBUSTIBLE	GLP - GAS NATURAL
PRESIÓN DEL COMBUSTIBLE	1 a 4 bar
MAX. POTENCIA TÉRMICA	600 KW
TEMPERATURA DE EJERCICIO	220°C
TEMPERATURA MÁXIMA	300°C
MATERIAL A TRATAR	MATERIAL CERÁMICO
PRODUCCIÓN MÁXIMA	5350 kg/h
ATMÓSFERA DE LA MAQUINA	OXIDANTE
MAX. PRESIÓN EN EL INTERIOR	0.02 mbar

Fuente: Cerámica Italia S.A

La zona más importante la cual es el horno está conformada por 43 módulos, cada módulo a lo largo mide 2.1 m x ancho útil 2.4 m x alto 1.94 m, los cuales se dividen en 6 zonas que conforman el proceso total de producción de revestimiento cerámico:

Tabla 2. Zonas del horno

ZONA	MODULOS
PREHORNO	1 – 7
PRECALENTAMIENTO	8 – 19
COCCIÓN	20 – 26

ENFRIAMIENTO DIRECTO	27 – 29
ENFRIAMIENTO INDIRECTO	30 – 36
ENFRIAMIENTO FINAL	37 – 43

Tabla 3. Información del horno

CARACTERÍSTICAS DEL HORNO # 5	
CONSTRUCTOR	SACMI FORNI - ITALIA
TIPO DE MÁQUINA	FMS 2600 / 90.3
N. DE SERIE	109621
AÑO DE FABRICACIÓN	2006
TIPO DE COMBUSTIBLE	GLP - GAS NATURAL
PRESIÓN DEL COMBUSTIBLE	1 a 4 bar
MAX. POTENCIA TÉRMICA	5040 KW
TEMPERATURA DE EJERCICIO	1140°C
TEMPERATURA MÁXIMA	1250°C
MATERIAL A TRATAR	MATERIAL CERÁMICO
PRODUCCIÓN MÁXIMA	5350 kg/h
ATMÓSFERA DE LA MAQUINA	OXIDANTE
MAX. PRESIÓN EN EL INTERIOR	0.02 mbar

Fuente: Cerámica Italia S.A

Estas características son las de trabajo del horno normalmente, pero pueden variar dependiendo del formato, tipo de esmalte y también por variación en el ciclo del horno.

Partes del modulo

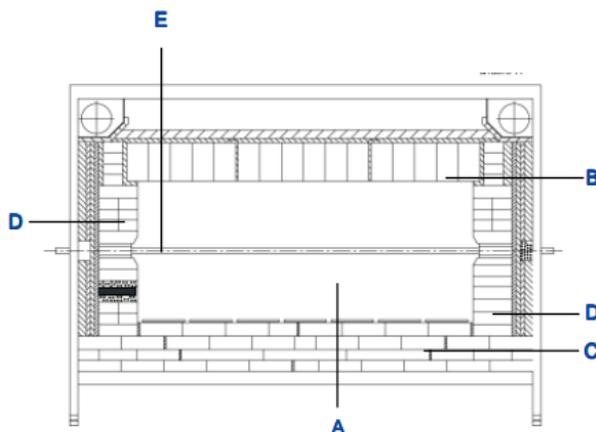


Figura 12. Modulo

Fuente: (Manual de uso y mantenimiento horno 5 -SACMI)

- A. Canal de cocción: parte interna por la que circula el producto
- B. Bóveda: techado aislante plano del horno
- C. Suela: aislamiento del fondo plano del horno
- D. Paredes: aislamiento lateral del horno
- E. Plano de rodillos: conjunto de los rodillos que pasan, sostienen y transportan el producto.

5.8 Desplazamiento rodillos

Para el desplazamiento de los rodillos se usan moto reductores cuya velocidad es controlada por variadores de frecuencia (inverter) controlados por el ordenador de gestión del horno.

Lado motorizado: El moto reductor mediante transmisión de cadena y piñones produce movimiento al árbol de transmisión, el cual tiene montados piñones de dientes helicoidales, estos a su vez están acoplados en parejas a los piñones helicoidales montados en bloques porta rodillos que internamente poseen un par de cojinetes, y está previsto con una terminación en forma circular

para el acoplamiento del rodillo. El árbol de transmisión y los bloques de los pernos de soporte de rodillos están empernados a un gran perfil angular nivelado y perforado con su debida regulación.

(MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)

El lado motorizado cuenta con 15 moto reductores con características como:

Potencia: 0.55 KW

RPM: 1400 rpm

Relación reductor: 1:111.6

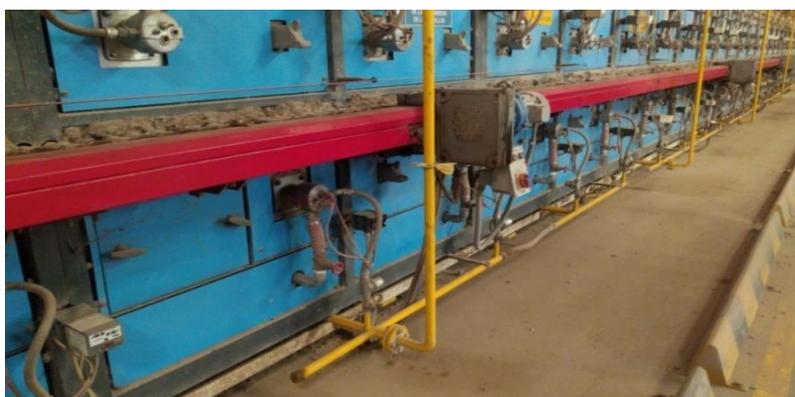


Figura 13. Lado motorizado

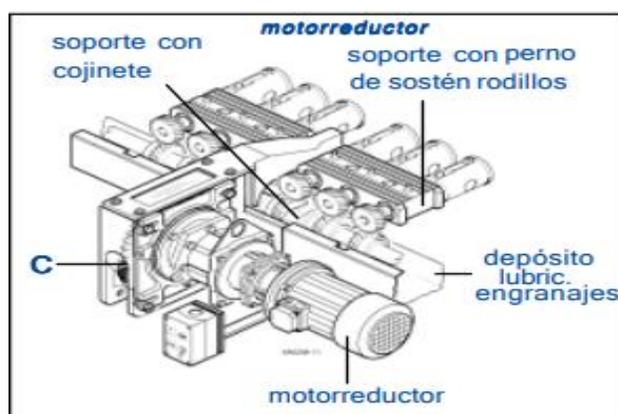


Figura 14. Esquema motorizado

Fuente: (Manual de uso y mantenimiento horno 5 -SACMI)



Figura 15. Engranajes helicoidales movimiento rodillos

Lado libre: En el lado opuesto al grupo de motorización, los rodillos están apoyados sobre cojinetes, los cuales están sujetos con pernos a barras metálicas, estas se pueden nivelar garantizando la ortogonalidad con el rodillo. El extremo del rodillo está protegido por un muelle espiral. Las dimensiones de los rodillos cuentan con un diámetro de 50 mm y un ancho de 3800mm.

(MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)

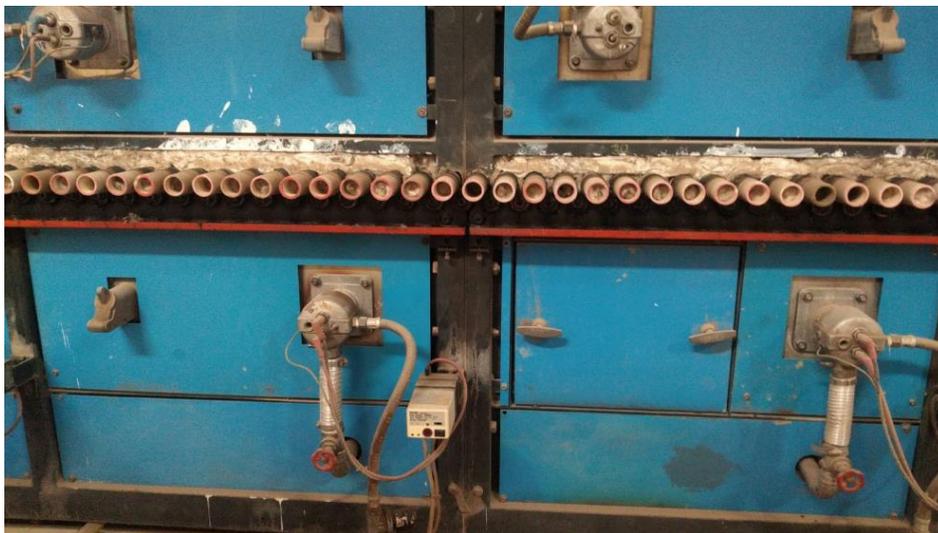


Figura 16. Lado libre

Antes del montaje de los rodillos se debe taponar con fibra cerámica prensada en sus extremos, de esta manera se busca reducir la dispersión de calor al exterior y se evita la condensación de los vapores liberados por el producto durante la cocción y despedidos a través del espesor del rodillo.

Así mismo se debe sellar el espacio libre entre los rodillos (algodonado) para así mantener la hermeticidad y evitar que se introduzcan aires fríos dentro del horno.

5.9 Sistema de combustión

El sistema de combustión está constituido por un elevado número de quemadores de llama libre alojados en las paredes de los hornos, encima y debajo del plano de rodillos. El número y la colocación dependen del estudio realizado en base a la producción y tipos de productos que deseen, los quemadores trabajan con alimentación separada de aire gas, el gas puede ser gas natural o propano, el aire y el gas se mezclan en una cámara combustión llamada bloque del quemador, que introduce el producido de la combustión al canal de cocción.

La alimentación de gas parte de una conexión de la red principal de la fábrica y llega a una centralita o rampa de gas que se encarga de dar paso al gas hacia las tuberías del horno.

La centralita o rampa de gas cuenta con unos componentes que garantizan la seguridad y confiabilidad a la hora de distribuir el gas para un consumo adecuado de él.

(MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)

Cuando se trabaja con gas natural, desde la subestación de descompresión se envía el gas a una presión de 4 a 5 bares, en la centralita o rampa de gas se regula esa presión reduciéndola a unos 120 a 150 milibares para su respectiva distribución en las tuberías del horno.

13. Manómetro (0 – 600 milibares)
14. Presostato mínimo presión gas
15. Presostato máximo presión gas
16. Medidor de caudal de turbina (opcional)
17. Electroválvula motorizada de apertura lenta
18. Electroválvula de alivio
19. Dispositivo de control estanqueidad “TC3”
20. Detector paso gas
21. Electroválvula
22. Manómetro (0 – 250 milibares)
23. Válvula de bola en el alivio sobrepresión



Figura 18. Centralita o rampa de gas Horno #5



Figura 19. Bypass tubería de gas natural o GLP



Figura 20. Regulador de presión a milibares

Ya regulada la presión del gas en milibares este se distribuye por unas tuberías que discurren por la parte alta del horno, de las que parten ramas de tuberías, que alimentan cada una un grupo de ocho o cuatro quemadores.

Cada rama de tubería (anillo gas) depende de una centralita de regulación con válvula moduladora de caudal del gas, electroválvula de cierre, y un posible estabilizador de presión que puede estar integrado en la electroválvula de cierre.

La válvula que regula el caudal del gas está controlada por un regulador conectado a un termopar situado en el canal de cocción en la zona de influencia del grupo de quemadores.

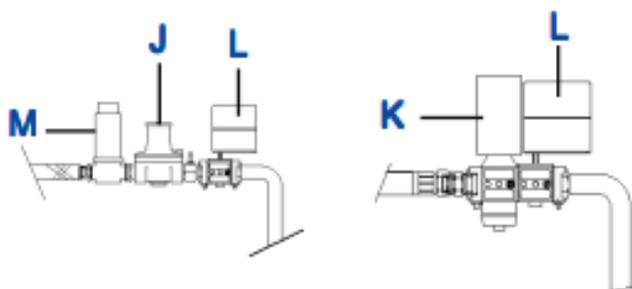


Figura 21. Centralita de regulación

Fuente: (MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)

J. Estabilizador presión gas

K. Electroválvula con estabilizador incorporado

L. Válvula moduladora gas

M. Electroválvula cierre gas a la ramba



Figura 22. Centralita de regulación

5.10 Gas natural

Es un energético que se extrae del subsuelo, se le agrega un odorizante llamado mercaptano, que le permite ser detectado en cualquier momento, se distribuye a través de gasoductos de acero y polietileno, materiales altamente resistentes incluso en zonas sísmicas, es considerado como el tipo de energía más amigable con el medio ambiente.

El Horno de Rodillos # 5 SACMI FMS 2600, realiza la combustión solamente con gas natural, esto debido a que las boquillas de los quemadores fueron cambiadas y estas solo permiten el flujo de gas natural y no de GLP.

El gas natural más usado para el proceso de cocción en el Horno de Rodillos # 5 SACMI FMS 2600, proviene de la empresa gases del oriente el cual llega por medio de gasoductos a una subestación ubicada a las afueras de la planta en la cual se regula las presiones del gas para ser enviado a la centralita del horno.

El otro gas natural usado para el proceso de cocción proviene de la empresa MC2, el cual llega en camiones en cilindros comprimidos, estos camiones se conectan a la subestación de descompresión la cual está ubicada en el patio de materias primas de la planta para regular su presión a la hora de ser enviado el gas a la centralita del horno.



Figura 23. Subestación de descompresión MC2

El consumo de gas natural se mide en un contador de gas ubicado en la parte final de la centralita, para medir el caudal en m³ del gas consumido por el horno.



Figura 24. Contador de gas

Tabla 4. Consumo de gas natural por hora

Consumo gas natural por hora					
	1-ene-22	1-feb-22	1-mar-22	1-abr-22	
Horas	GDO (m ³)	GDO (m ³)	MC2 (m ³)	MC2 (m ³)	GDO (m ³)
0:00:00	312,5	299,28	229,18	0	242,73
1:00:00	317,6	306,4	236,93	0	236,93
2:00:00	316,58	308,44	236,93	0	229,19
3:00:00	330,83	312,5	237,9	0	246,59
4:00:00	314,54	243,29	234,99	0	264
5:00:00	321,66	315,56	237,9	0	267,87
6:00:00	303,35	317,6	229,19	0	271,74
7:00:00	330,82	318,62	224,35	0	261,1
8:00:00	333,88	318,62	128,62	0	249,5
9:00:00	335,92	307,42	85,09	0	237,9
10:00:00	335,92	280,96	88,96	0	237,9
11:00:00	336,94	299,28	87,03	0	235
12:00:00	318,61	281,97	114,12	0	238,85
13:00:00	290,11	276,88	94,78	0	213,71
14:00:00	292,14	285,03	97,68	0	221,45
15:00:00	292,15	285,02	147,95	0	247,56
16:00:00	299,28	282,99	216,62	0	252,4
17:00:00	297,24	301,31	198,24	0	254,33

18:00:00	309,46	315,56	236,92	113,14	117,01
19:00:00	310,48	305,38	239,82	212,74	0
20:00:00	313,52	295,2	239,84	211,78	0
21:00:00	309,44	276,88	212,76	210,82	0
22:00:00	309,45	287,06	197,28	169,22	0
23:00:00	313,52	160,83	203,07	199,22	0
Total	7545,94	6982,08	4456,15	1116,92	4525,76
media	314,41	290,92	185,67	46,54	188,57
Máximo	336,94	318,62	239,84	212,74	271,74
Mínimo	290,11	160,83	85,09	0	0

Fuente: Cerámica Italia S.A

Tabla 5. Consumo gas natural año 2021

Consumo gas natural Horno # 5 año 2021			
Tipo de dato	Mensual		
2021	Valor acumulado (m ³)	MC2 (m ³)	GDO (m ³)
1	233920.38	5353.16	228567.22
2	217879.99	10157.88	207722.11
3	233298.03	15203.92	218094.11
4	245609.57	19822.2	225787.37
5	289277.72	31383.86	257893.86
6	421820.74	56639.08	365181.66
7	654884.03	145168.08	509715.95
8	212926.03	9464.12	203461.91
9	199124.2	17018.51	182105.69
10	85967.79	0	85967.79
11	166881.14	6729.64	160151.5
12	218418.61	27832.4	190586.21
Total	3180008.23	344772.85	2835235.38
media	265000.69	28731.07	236269.62
Máximo	654884.03	145168.08	509715.95
Mínimo	85967.79	0	85967.79

Fuente: Cerámica Italia S.A

Tabla 6. Cromatografía Gas natural (GDO)

Componentes	%
Metano (CH ₄)	94.1139
Etano (C ₂ H ₆)	2.5436
Propano (C ₃ H ₈)	1.1131
I-Butano (iC ₄ H ₁₀)	0.1873
N-Butano (nC ₄ H ₁₀)	0.2890
I-Pentano (iC ₅ H ₁₂)	0.0548
N-Pentano (nC ₅ H ₁₂)	0.0367
Hexano (C ₆ H ₁₄)	0.0085
Dióxido de carbono (CO ₂)	1.4701
Nitrógeno (N ₂)	0.1754
TOTAL	99.9924
Poder Calorífico Btu/PC	1041.75
Gravedad Especifica	0.5729

Fuente: Cerámica Italia S.A

5.11 Quemadores

Todos los quemadores se componen de un cuerpo en fundición de aluminio, un bloque quemador de carburo de silicio con función de cámara de combustión, una centralita electrónica para el encendido, apagado y control de llama.

El cuerpo del quemador está provisto de:

Una abrazadera para fijar a la estructura del horno

Acoplamiento para la conexión con tubo flexible a la tubería del aire comburente, con toma para

la medición de la presión.

Acoplamiento para la conexión con tubo flexible a la tubería del gas, con toma para la medición de la presión.

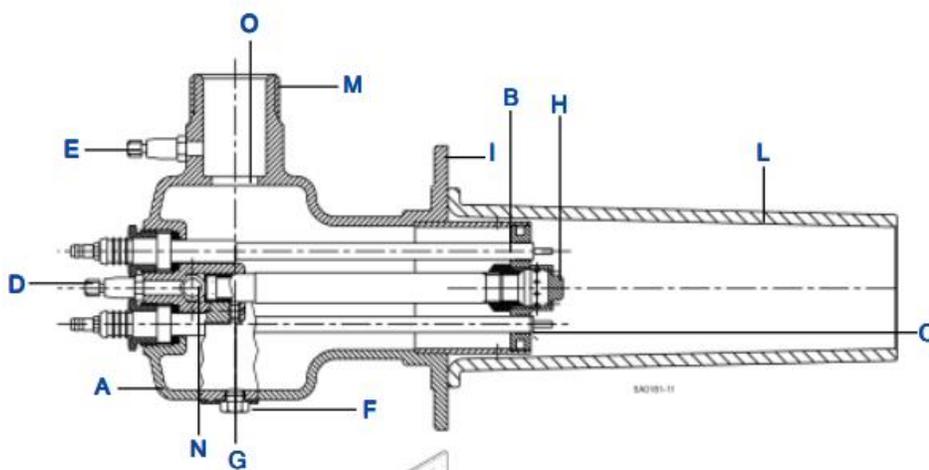
Cabezal para la mezcla aire-gas.

Electrodo para el encendido de arco voltaico de la mezcla aire-gas.

Electrodo para el control de la llama mediante detección de la corriente de ionización.

(MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)

Figura 25. Partes del quemador



(MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)

- A. Cuerpo del quemador
- B. Electrodo de encendido
- C. Electrodo de detección de llama
- D. Toma de presión gas
- E. Toma de presión aire de combustión
- F. Tapón de acceso al pasador M5 de apretado del grupo
- G. Pasador de apretado del grupo cabezal quemador
- H. Cabezal quemador
- I. Abrazadera fijación quemador
- L. Bloque quemador

M. Acoplamiento para conexión de aire

N. Acoplamiento para conexión de gas

O. Diafragma aire

El Horno de Rodillos SACMI FMS 2600 cuenta con un número de 144 quemadores, el lado motorizado tiene 72 quemadores repartidos entre la zona de precalentamiento y la zona de cocción de los cuales están encendidos 54; así mismo el lado de rodillos cuenta con el mismo número de quemadores 72 y también cuenta con el mismo número de quemadores encendidos 54, los 36 quemadores restantes que están apagados (18 quemadores apagados por cada lado) se encuentran así por decisiones tomadas por los encargados del horno.

Los quemadores usados en el horno se reparten entre dos referencias:

PL7-APG

PL7- PRO



Figura 26. Quemador del horno

Los módulos del horno donde se encuentran instalados los quemadores, están divididos en zonas demarcadas, cada una abarca el lado de arriba o de abajo del módulo, por lo cual dos zonas abarcan dos módulos, a excepción del módulo final de la zona de cocción que dos zonas abarcan un solo módulo, tanto en el lado motorizado como como en el lado de rodillos las zonas se dividen de la misma forma.

Las zonas(s) pares se encuentran por la parte de abajo del plano de rodillos de los módulos y las zonas(s) impares están ubicadas en la parte de arriba del plano de rodillos de los módulos.

Tabla 7. División de zonas y módulos

DIVISION DE MÓDULOS POR ZONAS	
ZONA (S)	MODULO (M)
S19 - S20	M26
S17 - S18	M25 - M24
S15 - S16	M23 - M22
S13 - S14	M21 - M20
S11 - S12	M19 - M18
S9 - S10	M17 - M16
S7 - S8	M15 - M14
S5 - S6	M13 - M12
S3 - S4	M11 - M10
K1 - K2	M9 - M8

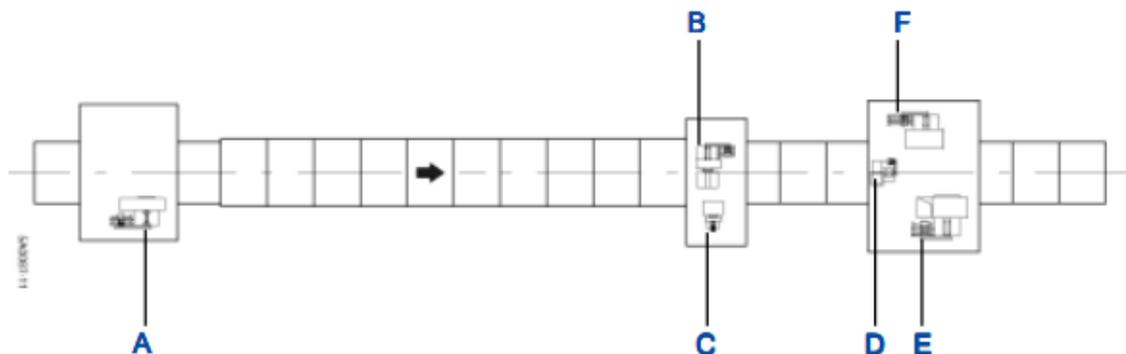
Figura 27. Zona del horno



5.12 Aireación

El horno dispone de ventiladores centrífugos, montado en plataformas metálicas apoyadas en el suelo, con escalera para acceso a estas, con sus respectivas barandas de seguridad.

Figura 28. Distribución de ventiladores en el horno



(MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)

- A. Ventilador de aspiración de humos.
- B. Ventilador de aire de combustión para los quemadores.
- C. Ventilador de soplado de aire en zona del enfriamiento directo.
- D. Ventilador de aspiración por intercambiador de calor en enfriamiento indirecto.
- E. Ventilador de soplado de aire en enfriamiento final.
- F. Ventilador de aspiración de aire caliente en enfriamiento final.

5.12.1 Sistema de aspiración de humos. Este sistema, instalado en el Prehorno, está constituido por un ventilador y un conjunto de tubos, válvulas y compuertas.

Se encarga de la aspiración y expulsión de los humos de la combustión y de los gases presentes en el momento de la cocción de la cerámica, los humos atraviesan a longitud del horno y son aprovechados para elevar la temperatura en la zona del Prehorno.

Este sistema es el que más directamente está ligado a la gestión de presión del horno, la presión se controla con un conjunto de válvulas que se activan de forma manual o por un servomotor, o con la variación de la velocidad del ventilador por medio de un inverter.

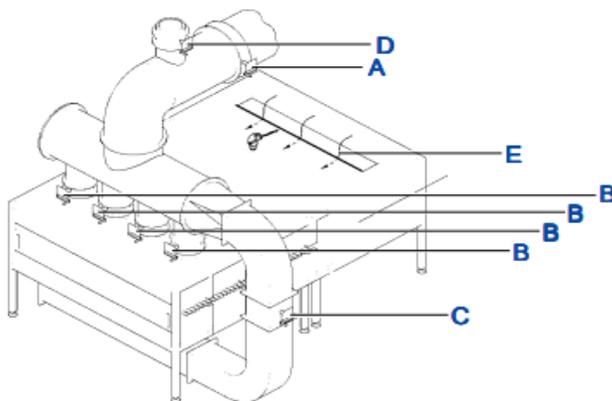


Figura 29. Sistema de aspiración de humos (D)

Fuente: (MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)

- A. Válvula general de regulación aspiración de humos
- B. Válvulas de regulación de tomas de humos sobre el plano de rodillos
- C. Válvula de regulación de tomas de humos bajo el plano de rodillos
- D. Válvula de regulación de aspiración para dilución de los humos.
- E. Compuerta para la aspiración del aire ambiental en la bóveda del Prehorno.
- F. Transductor de presión



Figura 30. Sistema aspiración de humos



Figura 31. Ventilador aspiración de humos

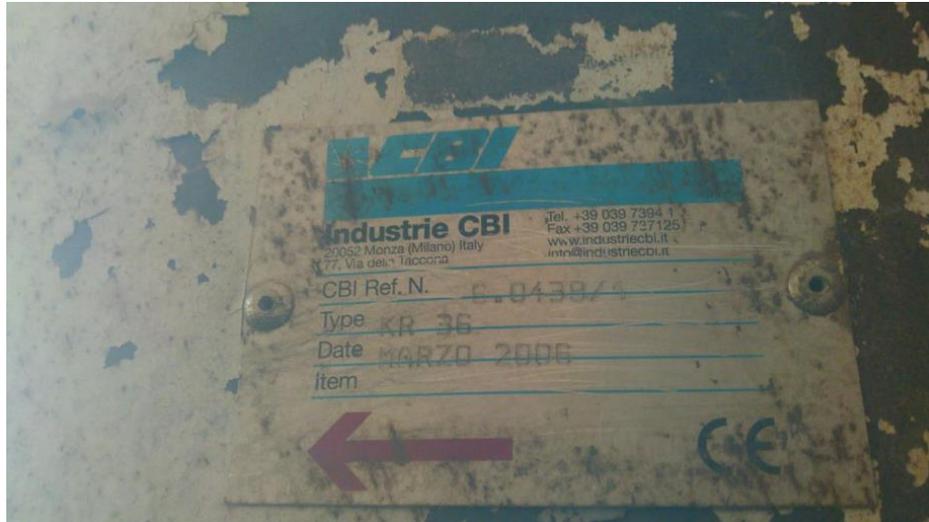


Figura 32. Placa del ventilador de aspiración de humos

5.12.2 Sistema de aire de combustión. Está constituido por un ventilador que envía aire ambiente por una tubería con ramificaciones superiores e inferiores que alimentan los quemadores de encima y debajo del plano de rodillos.

(MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)



Figura 33. Ventilador aire de combustión

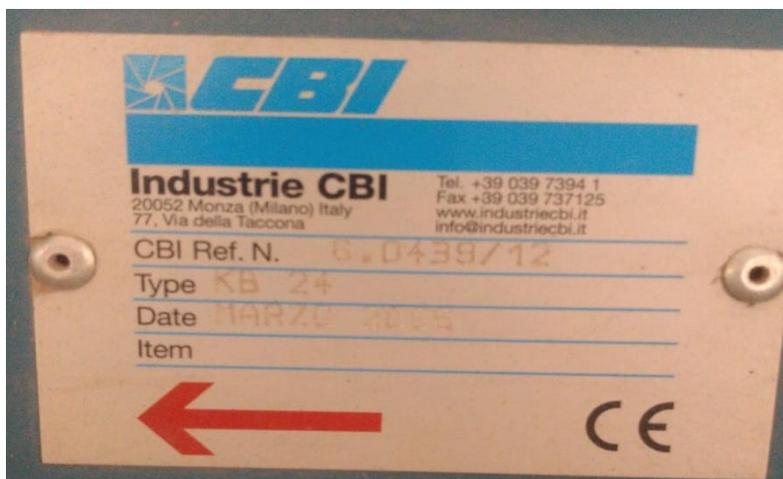


Figura 34. Placa del ventilador de aire de combustión

Sistema “BSR”

El Horno de Rodillos SACMI FMS 2600, cuenta con un sistema integrado para el precalentamiento del aire de combustión, el cual consiste en un intercambiador de calor, que funciona con unos tubos transversales que se encuentran bajo la bóveda en la zona del enfriamiento rápido, este sistema funciona con una válvula de by-pass que da la posibilidad de que el aire que viene desde el ventilador pase por este sistema de intercambiador de calor o siga derecho el aire ambiente hacia los quemadores.

Por decisiones ejecutadas por los encargados del horno, y problemas anteriormente presentados con este sistema, se tomó la decisión de no ponerlo en funcionamiento.



Figura 35. Sistema “BSR”

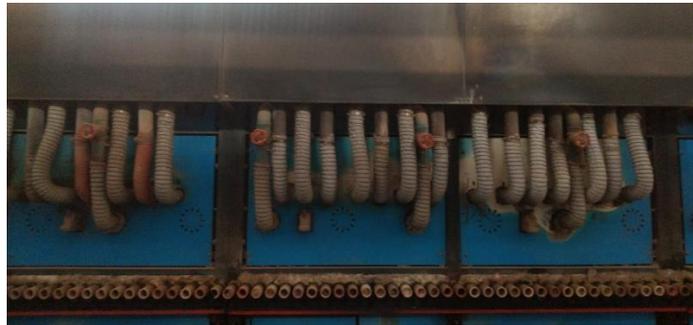


Figura 36. Mangueras del intercambiador de calor

5.12.3 Sistema de enfriamiento directo. El ventilador está conectado a una tubería con órganos de regulación que alimentan tubos de soplado que pasan por la sección del horno, por encima y por debajo del plano de rodillos. Los tubos de soplado son orientables para dirigir el chorro de aire a donde más convenga y están alimentados por los dos lados.

(MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)

Los tubos son de acero inoxidable o carburo de silicio.



Figura 37. Ventilador de enfriamiento directo



Figura 38. Tubería de enfriamiento hacia la zona

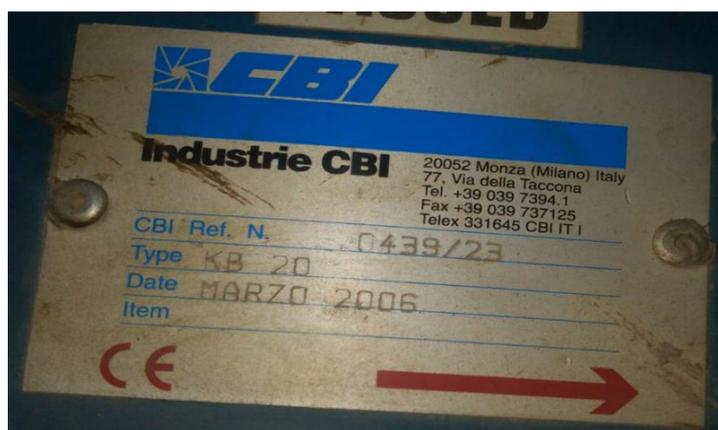


Figura 39. Placa del ventilador de enfriamiento directo

Figura 40. Mangueras enfriamiento directo



5.12.4 Sistema de enfriamiento indirecto. El sistema se compone de tubos intercambiadores de calor, transversales al horno por debajo de la bóveda, a través de los cuales un ventilador aspira y hace circular aire ambiente, una tubería con órganos de regulación manual y automática conecta los tubos intercambiadores de calor.

(MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)

El sistema de intercambiador tiene instalada 4 compuertas por las cuales se aspira el aire caliente que se genera por el tránsito del aire ambiente dentro de los tubos que están en la zona de enfriamiento indirecto, estas compuertas tienen que estar abiertas al 100% para evacuar todo el aire caliente que sea posible.



Figura 41.Intercambiador de calor enfriamiento indirecto

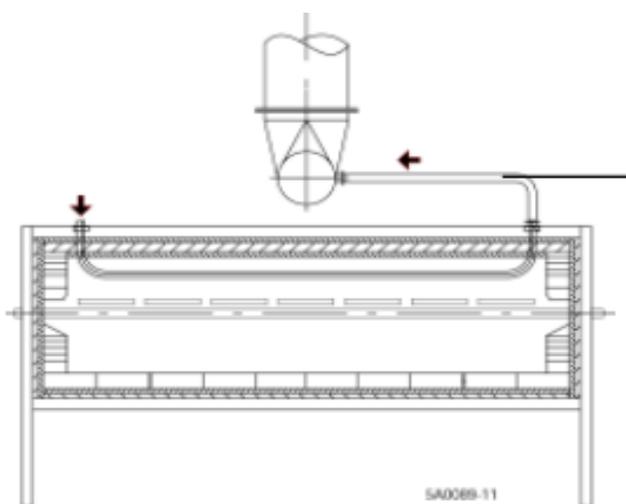


Figura 42.Tubos transversales

Fuente: (MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)



Figura 43. Ventilador enfriamiento indirecto

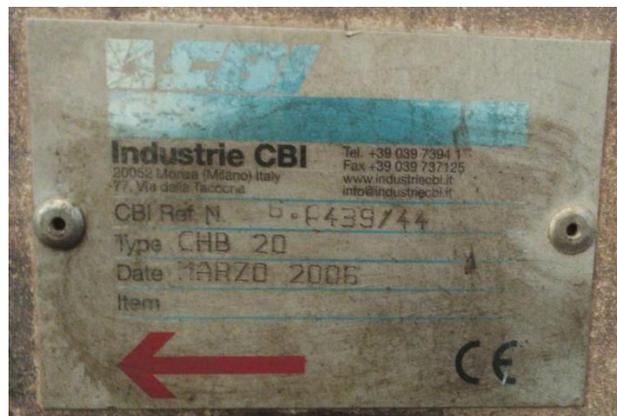


Figura 44. Placa ventilador enfriamiento indirecto

5.12.5 Soplado de aire en enfriamiento final. El sistema se compone de una serie de tubos transversales perforados, colocados por encima y por debajo de los rodillos que están alimentados por un ventilador mediante una tubería provista de órganos de regulación manual.

El ventilador se puede controlar desde el ordenador con arranque y parada automática, para compensar grandes alteraciones de las temperaturas del enfriamiento como consecuencia de largos vacíos en el horno.



Figura 45. Enfriamiento final encima del plano de rodillos



Figura 46. Enfriamiento final debajo del plano de rodillos



Figura 47. Ventilador de enfriamiento final

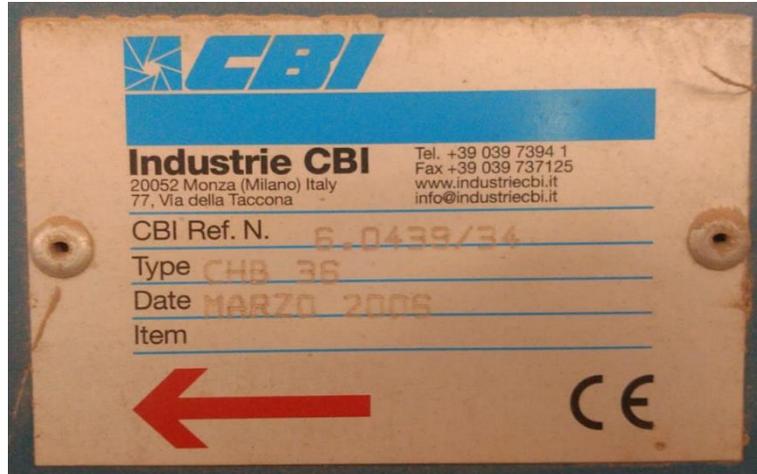


Figura 48. Placa ventilador enfriamiento final

5.12.6 Aspiración de aire caliente en enfriamiento final. El sistema se compone de una serie de tomas de aire en la bóveda del horno mediante campanas regulables con válvulas de mariposa, que están conectadas a una tubería a la boca aspirante de un ventilador. El aire se expulsa al ambiente por una chimenea, la descarga a la atmósfera del aire caliente debe estar siempre libre, sin estrangulaciones. Mediante tubería se puede recuperar un porcentaje de ese aire caliente expulsado a la atmósfera.

(MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)



Figura 49. Campanas de aspiración aire caliente



Figura 50. Ventilador aspiración aire caliente



Figura 51. Placa ventilador aspiración aire caliente

A continuación, se presentarán los caudales de trabajo de los ventiladores.

Tabla 8. Caudales de los ventiladores

CAUDAL DE LOS VENTILADORES		
VENTILADOR CENTRIFUGO	TIPO	CAUDAL m³/h
GASES DE COMBUSTIÓN	KR 36	34000
AIRE DE COMBUSTIÓN	KB 24	11000
ENFRIAMIENTO DIRECTO	KB 20	8000
ENFRIAMIENTO INDIRECTO	CHB 20	10000
ENFRIAMIENTO FINAL	CHB 36	33000
ASPIRACION FINAL	CHB 40	52250

Fuente: Cerámica Italia S.A

Se presentarán algunas características de los motores de los ventiladores, con sus respectivos datos de velocidades, cabe resaltar que 3 motores llevan instalado un inverter (aspiración de humos, aspiración aire caliente y aire de combustión).

Tabla 9. Características motores

MOTORES	RPM	RPM VENTILADOR	POTENCIA
Motor aspiración de humos	1775	810	55 hp
Motor aire de combustión	1765	2970	45 hp
Motor enfriamiento directo	1755	2855	25 hp
Motor enfriamiento indirecto	1755	2045	15 hp
Motor enfriamiento final	1770	1255	50 hp
Motor aspiración aire caliente	1760	720	60 hp



Figura 52. Toma de RPM de la relación del motor



Figura 53. Lámpara estroboscópica





Figura 54. Motor ventilador de aspiración de humos y aire caliente

5.13 Tablero eléctrico

El horno está provisto de automatismos, dispositivos, equipos, y conexiones que sirven para manejarlo y controlarlo desde el tablero de control.

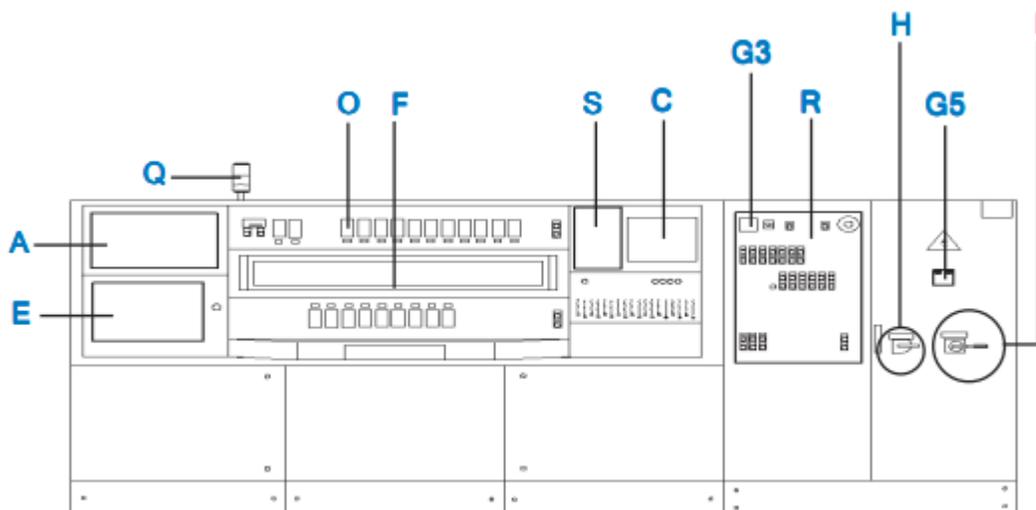


Figura 55. Tablero eléctrico de control STD

(MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)

A. Ordenador

C. Monitor

- E. Impresora
- F. Sinóptico
- G. Instrumentación de control
- G3. Conmutador voltimétrico
- G5. Relé diferencial para detección dispersión hacia tierra
- H. Interruptor auxiliar general
- I. Interruptor general
- O. Reguladores de temperatura y presión
- R. Panel de arranque
- S. Panel de alarmas

El tablero de control eléctrico del Horno de Rodillos SACMI FMS 2600, es un tablero tipo STD, con sofisticados sistemas para el control de temperatura en las zonas de cocción y monitoreo de temperatura y caudal de los fluidos de entrada, además con alarmas establecidas para situaciones que se presentan dentro del proceso, lo que facilita el mejor y buen manejo del horno.

(MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)



Figura 56. Tablero de control Horno # 5



Figura 57. Controladores de temperatura

5.14 Toma de temperatura en paredes y techo del horno

Para conocer las temperaturas en las paredes y en el techo del horno, se tomaron por medio de un instrumento llamado pirómetro, este calcula la temperatura en un punto específico sin entrar en contacto con el objeto el cual se está midiendo, esto con el objetivo de recolectar los datos

necesarios para la realización de los cálculos de pérdidas por convección y radiación en la estructura del horno # 5.

Con la ayuda de los técnicos operarios del horno, se cuantificaron las temperaturas en las paredes y techo de este, desde la zona del Prehorno hasta la zona de enfriamiento final; se tomaron los respectivos datos por módulos, para luego calcular un promedio de estos y dividirlos por las zonas en las cuales se reparte el horno, esto con el fin de facilitar el proceso de realización de los cálculos de pérdidas de energía térmica por convección natural y radiación en toda la estructura del horno.



Figura 58. Toma de temperatura paredes del horno lado rodillos



Figura 59. Toma de temperatura paredes del horno lado motorizado



Figura 60. Toma de temperatura en el techo del horno



Figura 61. Pirómetro

Tabla 10. Temperatura módulos del horno

TOMA DE TEMPERATURAS PAREDES Y TECHO DEL HORNO				
MODULOS	PROMEDIO TEMP. LADO MOTORIZADO (°C)	PROMEDIO TEMP. LADO RODILLOS (°C)	TECHO (°C)	PROMEDIO POR MODULO (°C)
1	43,75	46,225	70,3	53,425
2	44,025	48,975	58	50,333
3	42,45	49,525	52,9	48,291
4	44,875	47,65	55,6	49,375
5	44,725	49,8	55,5	50,008
6	38,325	41,725	52,2	44,083
7	40,925	43,575	54,5	46,333
8	41,525	44,15	60,6	48,758
9	40,925	44,05	64	49,658
10	43,7	45,475	65,6	51,591
11	43,9	46,975	66,3	52,391
12	47,2	53,325	71	57,175
13	49,5	53,75	75	59,416
14	51,875	58,075	77,3	62,416
15	54,15	61,775	78,8	64,908
16	57,95	60,825	81,3	66,691
17	55,925	60,05	84,8	66,925
18	57,875	64,925	86	69,6
19	58,725	68,175	90,5	72,466
20	68,05	78,85	100	82,3
21	69,25	75,225	104,5	82,99
22	71,175	72,4	107,5	83,69
23	71,875	75,875	102,8	83,516
24	72,5	71,675	104,4	82,858
25	77,175	68,575	100	81,916
26	64,25	63,075	90	72,441
27	57,75	63,35	45 - 50	60,55
28	75,475	97,55	45 - 50	86,512
29	78,675	71,5	50 - 60	75,087
30	86,5	85,875	83	85,125
31	90,5	89	115	98,16
32	78,75	85,475	120,3	94,84
33	72,725	83,6	115	90,44
34	74,15	80,2	108,5	87,616
35	81,275	82,75	104,4	89,475

36	71,975	85,8	242	133,258
37	62,25	76,025	118,6	85,625
38	69,325	63,575	73,6	68,833
39	52,375	53,65	70	58,675
40	56,7	50,875	66,4	57,99
41	45,425	49,375	52	48,933
42	44,55	48,05	44,1	45,566
43	46,2	49,425	42,6	46,075

PREHORNO

PRECALENTAMIENTO

COCCIÓN

ENFRIAMIENTO DIRECTO

ENFRIAMIENTO INDIRECTO

ENFRIAMIENTO FINAL

5.15 Producción de cerámica

El Horno de Rodillos # 5 SACMI FMS 2600, en el proceso de estudio por parte del pasante, trabajo con el formato 60 cm x 60 cm empezando con un ciclo de cocción de 33 minutos y en medio del estudio bajo a un ciclo de 30 minutos, en este tiempo coció varios tipos de referencias como:

Spada beige y blanco

Castilla beige y gris

Seúl índigo

Monastier humo

Urbe nature

Torazo gris, entre otras

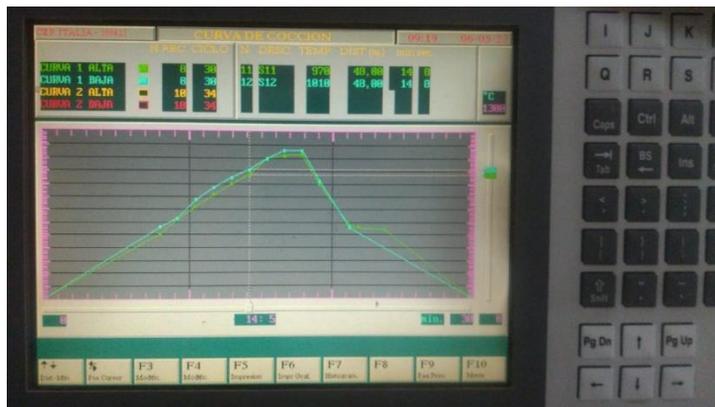


Figura 62. Curva de cocción

A continuación, se presentan las baldosas antes de ingresar al horno (cruda) y después de su paso por el horno (cocida).



Figura 63. Baldosa cocida

Para conocer la masa que ingresa al horno y calcular el calor útil que se genera en el proceso de cocción se toma el peso (Kg) de varias muestras de baldosas en crudo, registrando valores de entre 6.40 kg a 6.50 kg, por lo cual se saca un promedio:

$$\text{Masa promedio} = \frac{\text{masa de cada pieza}}{\# \text{ de piezas}} = 6.45 \text{ kg}$$



Figura 64. Baldosa cruda

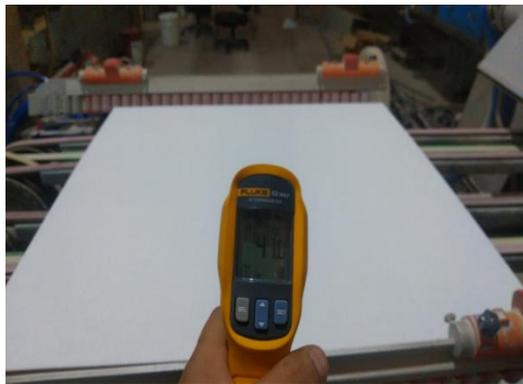


Figura 65. Temperatura de baldosa cruda

Para obtener la temperatura promedio de las baldosas antes de ingresar al horno, se hicieron las mediciones de varias muestras momentos antes de entrar al horno, tomando estos datos se halló el promedio que fue de 41 °C.

Para conocer la masa entrante en el horno por hora, se hace el cálculo de la siguiente manera:

Se mide el tamaño de las piezas en crudo antes de ingresar al horno, se tomaron de muestra varias piezas para su respectiva medición de distintos lotes, las cuales tenían un promedio 63 cm x 63 cm.

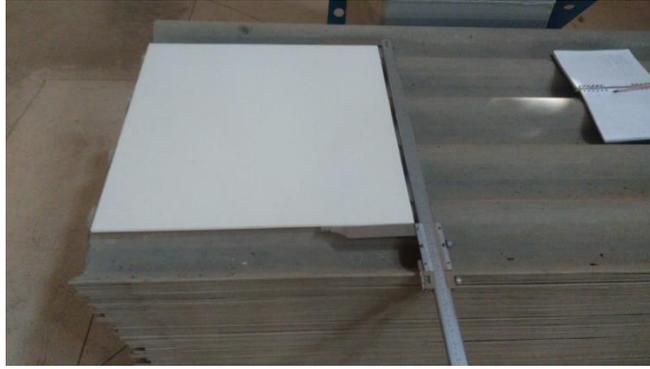


Figura 66. Medición tamaño baldosa en crudo

Se prosigue con el cálculo de piezas entrantes al horno para posteriormente conocer la masa que ingresa en este.

5.15.1 Cálculo de metros teóricos del horno # 5

Longitud: 100.800 mm

Ancho útil: 2.400 mm

Dimensiones de la baldosa en crudo (630 mm x 630 mm)

Número de baldosa por ancho útil $\longrightarrow \frac{2400 \text{ mm}}{630 \text{ mm}} = 3.8$ (ingresan 3)

Número de filas a lo largo $\longrightarrow \frac{100800 \text{ mm}}{630 \text{ mm} + 10 \text{ mm}} = 157.5$ (157 filas)

-10 mm es el espacio teórico que debe haber entre baldosas

Número de baldosas por ciclo $\longrightarrow 3$ baldosas x 157 filas = 471 baldosas

m² por ciclo $\longrightarrow \frac{471 \text{ baldosas}}{2.778} = 170 \text{ m}^2$

-2.778 es el factor de conversión del formato

m² por turno $\longrightarrow \frac{170 \text{ m}^2}{\text{ciclo}} * \frac{1 \text{ ciclo}}{30 \text{ min}} * \frac{480 \text{ min}}{1 \text{ turno}} = 2720 \text{ m}^2/\text{turno}$

$$\text{Número de baldosas que entran por minuto} \longrightarrow \frac{471 \text{ baldosas}}{\text{ciclo}} * \frac{1 \text{ ciclo}}{30 \text{ min}} = 15.7 \text{ bald/min}$$

- Se aproxima a 16 bald/min

$$* \text{Número de baldosas por hora} \longrightarrow \frac{16 \text{ baldosas}}{\text{minuto}} * \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} = 960 \text{ bald/hora}$$

Ya conociendo el número de bald/hora y la masa promedio de las baldosas se prosigue a calcular

la masa promedio de baldosas por hora:

$$* \text{Masa promedio por hora} \longrightarrow \frac{960 \text{ baldosas}}{\text{hora}} * \frac{6.45 \text{ kg}}{\text{baldosa}} = 6192 \text{ kg/hora}$$

6. Informe de cumplimiento de trabajo

Presentación de Resultados

6.1 Objetivo específico 1. Realizar una evaluación de la eficiencia energética del horno

Para dar cumplimiento a este objetivo, se realizó la respectiva toma de datos que permite al pasante realizar de mejor manera los cálculos para la evaluación de la eficiencia energética del horno # 5, para posteriormente continuar con la elaboración del proyecto.

La metodología usada para cuantificar la eficiencia energética del horno # 5, es el método indirecto.

$$\eta = 100 - \sum q_p$$

Actividad 1. Calcular el calor útil del proceso de cocción y pérdidas de energía térmica en el horno para realizar el balance de energía.

La evaluación de la eficiencia energética está diseñada para revisar el uso de energía en las industrias y proporcionar estrategias para mejorar la eficiencia de esa empresa.

Se supone que el horno estuvo en estado estacionario

Nota: Los datos de las temperaturas necesarias para los cálculos, se tomaron del tablero de control del horno.

6.1.1 Calor útil. Se calculará la energía útil del sistema con los datos tomados y calculados en el tiempo de estudio.

Datos necesarios:

$$\text{Masa: } 6192 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$CP_{\text{cerámica}}: 0.20 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right]$$

Calor útil

$$Q_{\text{util}} = \text{Producción} \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] * CP_{\text{material}} \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right] * [T_{\text{proceso}} - T_{\text{entrada}}] [^\circ\text{C}]$$

$$Q_{\text{util}} = 6192 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] * 0.20 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right] * [1155 - 41] [^\circ\text{C}]$$

$$Q_{\text{util}} = 1379577 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right] = \mathbf{1603 \text{ Kwh}}$$

6.1.2 Pérdidas de calor por fugas. Se hallarán las pérdidas por fugas de aire caliente en las chicanas, mamparos y salida del horno, las cuales representan el mayor foco de pérdidas de calor por fugas de aire caliente.

$$Q_{\text{fugas}} = V_{\text{aire}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] * D_{\text{aire}} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] * CP_{\text{fuga}} \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right] * [T_{\text{fuga}} - T_{\text{ambiente}}] [^\circ\text{C}]$$

Datos necesarios para aplicar la fórmula:

$$Q = V * A$$

$$D_{\text{aire}} = \frac{\text{Presión Atm}}{287.1 * \text{Temp (K)}}$$

$$CP_{\text{fuga}} = 0.24 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right]$$

Salida del horno

$$Q = 2.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.336 \text{ m}^2 = 0.84 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \longrightarrow 3024 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$D_{\text{aire}} = \frac{95992.1 \text{ Pa}}{287.1 * 343 \text{ (K)}} = 0.974 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Se reemplaza en la fórmula:

$$Q_{\text{fugas}} = V_{\text{aire}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] * D_{\text{aire}} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] * CP_{\text{fuga}} \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right] * [T_{\text{fuga}} - T_{\text{ambiente}}] [^\circ\text{C}]$$

$$Q_{\text{fugas}} = 3024 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] * 0.974 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] * 0.24 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} \right] * [70 - 33] [^\circ\text{C}]$$

$$Q_{\text{fugas}} = 26154 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right]$$

$$\text{Chicana 2} \longrightarrow Q_{\text{fugas}} = 5370 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right]$$

$$\text{Chicana 3} \longrightarrow Q_{\text{fugas}} = 5128 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right]$$

$$\text{Chicana 4} \longrightarrow Q_{\text{fugas}} = 10256 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right]$$

$$\text{Mamparo 1} \longrightarrow Q_{\text{fugas}} = 9287 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right]$$

$$\text{Mamparo 2} \longrightarrow Q_{\text{fugas}} = 9287 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right]$$

$$T_{\text{fugas}} = 65482 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right] = \mathbf{76.1 \text{ [Kwh]}}$$

En la salida del horno no hay instalada ninguna termocupla, por lo cual la medición de temperatura en esta zona se realizó por medio de una sonda que mide la temperatura igual que una termocupla, así mismo se midió la velocidad de salida de las fugas por medio de un anemómetro análogo para obtener los datos exactos.



Figura 67. Toma de temperatura Salida del horno



Figura 68. Anemómetro

6.1.3 Pérdidas en la chimenea de gases de refrigeración. Se calcula la pérdida de calor por chimenea de gases de refrigeración, en esta chimenea intervienen dos caudales y temperaturas diferentes (enfriamiento final y enfriamiento indirecto) por lo cual se debe hallar la temperatura de equilibrio de salida del aire y el caudal, la salida del aire del enfriamiento directo por estar más cerca de la zona de enfriamiento final que del tiro de chimenea, se asume que sale por medio de esta esta.

$$Q_{pc} = V_{aire} \left[\frac{m^3}{h} \right] * D_{aire} \left[\frac{Kg}{m^3} \right] * C_{Pfuga} \left[\frac{Kcal}{kg C} \right] * [T_{fuga} - T_{ambiente}] [^{\circ}C]$$

Datos necesarios:

Se calculó la temperatura de salida con la ecuación del equilibrio térmico:

$$T_e = m * C_e * \Delta T$$

$$T_e = 162 \text{ } ^{\circ}C$$

Se halló el caudal de salida sumando los caudales de los dos ventiladores que intervienen en la chimenea, se suman debido a que son el mismo fluido.

$$Q = 62250 \text{ m}^3/h$$

Pérdidas por la chimenea de aspiración final

$$Q_{pc} = V_{aire} \left[\frac{m^3}{h} \right] * D_{aire} \left[\frac{Kg}{m^3} \right] * C_{Pfuga} \left[\frac{Kcal}{kg C} \right] * [T_{fuga} - T_{ambiente}] [^{\circ}C]$$

$$Q_{pc} = 62250 \left[\frac{m^3}{h} \right] * 0,768 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] * 0,24 \left[\frac{Kcal}{kg \cdot C} \right] * [162 - 33] [^{\circ}C]$$

$$Q_{pc} = 1480135 \left[\frac{Kcal}{h} \right] = \mathbf{1720 [Kwh]}$$

La temperatura de salida del aire del enfriamiento directo y final se toma por medio de un termómetro análogo instalado en la tubería del ventilador de aspiración del enfriamiento final.



Figura 69. Termómetro

La tubería del ventilador de enfriamiento indirecto no contaba con termocupla ni con termómetro análogo, por lo que fue necesario introducir una sonda en medio de la unión de asbesto entre las tuberías para calcular la temperatura en esta.



Figura 70. Temperatura Aire enfriamiento indirecto

La chimenea cuenta con un sistema de tubería conectada a ella, la cual desviando el aire por medio de una platina (cerrada un 75 %) en el interior de la chimenea, direcciona el aire caliente

hacia esta, esta lleva este aire hacia el maxi compensador del propio horno y al maxi compensador del horno 2, por lo que podemos decir que se genera un aprovechamiento de la energía térmica que sale por la chimenea de aspiración final.

Para cuantificar la cantidad de energía térmica que se aprovecha de esta chimenea, calcularemos el calor útil absorbido por las piezas dentro del maxi compensador. Del formato 60 cm x 60 cm para llenarlo en su máxima capacidad se necesitan 684, por lo que la masa que entra en el maxi compensador es de 4412 kg.

Datos necesarios:

$$\text{Masa: } 4412 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$\text{CPcerámica: } 0.20 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right]$$

Calor útil

$$Q_{\text{util}} = \text{Producción} \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] * \text{CPmaterial} \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right] * [\text{Tproceso} - \text{Tentrada}] [^\circ\text{C}]$$

$$Q_{\text{util}} = 4412 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] * 0.20 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right] * [103 - 41] [^\circ\text{C}]$$

$$Q_{\text{util}} = 54709 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right] = \mathbf{63.6 \text{ [Kwh]}}$$

Ya cuantificado este valor, conocemos la cantidad de energía térmica que se aprovecha de la chimenea de gases de refrigeración.

$$Q_{\text{aprovechado}} = \mathbf{63,6 \text{ [Kwh]}}$$



Figura 71. Sistema de recuperación de calor

6.1.4 Pérdidas de energía térmica por enfriamiento. A continuación, se realizarán los cálculos de pérdidas de energía térmica en la zona de enfriamiento.

$$Q_{\text{enfriamiento}} = V_{\text{aire}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] * D_{\text{aire}} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] * C_{\text{Paire}} \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{kg C}} \right] * [T_{\text{salida}} - T_{\text{ambiente}}] [^{\circ}\text{C}]$$

Datos necesarios:

$$D_{\text{aire}} = 1.092 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] \text{ a } 33 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$C_{\text{Paire}} = 0.24 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{kg C}} \right]$$

Los caudales de los ventiladores se tomaron de la **tabla 6**.

Enfriamiento final

$$Q_{\text{ef}} = V_{\text{aire}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] * D_{\text{aire}} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] * C_{\text{Paire}} \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{kg C}} \right] * [T_{\text{salida}} - T_{\text{ambiente}}] [^{\circ}\text{C}]$$

$$Q_{ef} = 33000 \left[\frac{m^3}{h} \right] * 1.092 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] * 0.24 \left[\frac{Kcal}{kg \cdot C} \right] * [150 - 33] [^{\circ}C]$$

$$Q_{ef} = 1011891 \left[\frac{Kcal}{h} \right]$$

$$\text{Enfriamiento directo} \rightarrow 245307 \left[\frac{Kcal}{h} \right]$$

$$\text{Enfriamiento indirecto} \rightarrow 453398 \left[\frac{Kcal}{h} \right]$$

$$\text{Tenfriamiento} = 1710596 \left[\frac{Kcal}{h} \right] = \mathbf{1988 [Kwh]}$$

6.1.5 Pérdidas por convección y radiación. Se procede a calcular las pérdidas por convección natural en el horno, se miden las pérdidas en las paredes y en el techo de manera individual ya que por su posición en vertical y horizontal la aplicación de fórmula es diferente.

Se calculan las pérdidas, dividiendo el horno por zonas.

Pérdidas de calor por convección en las paredes

Tabla 11. Pérdidas de calor por convección en las paredes

TEMP. DE PELICULA PAREDES (V)			
ZONA	TEMP. AMBIENTE (°C)	TEMP. ZONA (°C)	TEMP. PELICULA (°C)
PREHORNO	33	44,753	38,8765
PRECALENTAMIENTO	33	52,7	42,85
COCCION	33	71,425	52,2125
E. DIRECTO	33	74,05	53,525
E. INDIRECTO	33	82,041	57,5205
E. FINAL	33	54,842	43,921

Propiedades del aire

Tabla 12. Propiedades del aire convección en paredes

PROPIEDADES DEL AIRE						
ZONA	TEMP. PELICULA (°C)	CONDUCTIVIDAD TERMICA K (W/M *K)	VISCOSIDAD CINEMATICA V (M2/S)	TEMP PELICULA (°K)	NUMERO DE PRANDTL	COEFICIENTE VOLUMETRICO DE EXPASION TERMICA
PREHORNO	38,876	0,02653	1,691x10 ⁻⁵	311,876	0,7257	3,206x10 ⁻³
PRECALENTAMIENTO	42,85	0,02683	1,729x10 ⁻⁵	315,85	0,7247	3,166x10 ⁻³
COCCION	52,212	0,02751	1,819x10 ⁻⁵	325,212	0,7222	3,074x10 ⁻³
E. DIRECTO	53,525	0,02761	1,832x10 ⁻⁵	326,525	0,7218	3,062x10 ⁻³
E. INDIRECTO	57,52	0,02789	1,871x10 ⁻⁵	330,52	0,7208	3,025x10 ⁻³
E. FINAL	43,921	0,02691	1,739x10 ⁻⁵	316,921	0,7244	3,155x10 ⁻³

Se calculan los datos de la tabla A-15 propiedades del aire a 1 atm de presión del libro de YUNUS A. CENGEL – AFSHIN J. GHAJAR 4ta edición, la cual se puede apreciar en el anexo 2.

El coeficiente de expansión volumétrica se calcula $1/\text{temperatura de película en } (^{\circ}\text{K})$.

Determinando el número de nusselt

Tabla 13. Número de nusselt por convección en paredes

DETERMINACIÓN DEL NUMERO DE NUSSLT						
ZONA	TEMP. AMBIENTE (°C)	LONG. DE CONFIGURACION GEOMETRICA (L)	VISCOSIDAD CINEMATICA (M2/S)	NUMERO DE GRASHOF	NUMERO DE RAYLEIGH	NUMERO DE NUSSLT
PREHORNO	33	14,7	1,691x10 ⁻⁵	4,102x10 ¹²	2,977x10 ¹²	1583,9
PRECALENTAMIENTO	33	25,2	1,729x10 ⁻⁵	3,272x10 ¹³	2,371x10 ¹³	3124,4
COCCION	33	14,7	1,819x10 ⁻⁵	1,111x10 ¹³	8,023x10 ¹²	2188,8
E. DIRECTO	33	6,3	1,832x10 ⁻⁵	9,177x10 ¹¹	6,623x10 ¹¹	970,3
E. INDIRECTO	33	14,7	1,871x10 ⁻⁵	1,319x10 ¹³	9,507x10 ¹²	2313,3
E. FINAL	33	14,7	1,739x10 ⁻⁵	7,093x10 ¹²	5,138x10 ¹²	1892,6

Se calculó el número de Grashof con la siguiente ecuación:

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2} \quad (9-15)$$

en donde

g = aceleración gravitacional, m/s^2

β = coeficiente de expansión volumétrica, $1/K$ ($\beta = 1/T$ para los gases ideales)

T_s = temperatura de la superficie, $^{\circ}C$

T_∞ = temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, $^{\circ}C$

L_c = longitud característica de la configuración geométrica, m

ν = viscosidad cinemática del fluido, m^2/s

El número de rayleigh se halla:

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} Pr$$

Finalmente, el número de nusselt para una placa vertical se halló de la siguiente manera:

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

Coficiente de convección

Tabla 14. Coficiente de convección

COEFICIENTE DE CONVECCION		
ZONA	LONGITUD (M)	COEFICIENTE DE CONVECCION
PREHORNO	14,7	2,858
PRECALENTAMIENTO	25,2	3,326
COCCION	14,7	4,096
E. DIRECTO	6,3	4,252
E. INDIRECTO	14,7	4,388
E. FINAL	14,7	3,464

Este se halló con la siguiente fórmula:

$$h = \frac{k}{L} Nu$$

Pérdidas de calor por convección en placa vertical

Tabla 15. Pérdidas de calor por convección en placa vertical

CALOR PERDIDO POR CONVECCION NATURAL AL EXTERIOR DEL HORNO					
ZONA	AREA DE TRANSFERENCIA (M2)	TEMP. AMBIENTE (°C)	TEMP. ZONA (°C)	FLUJO DE CALOR POR CONVECCION (W)	
PREHORNO	29,4	33	44,753	987,5	
PRECALENTAMIENTO	97,8	33	52,7	6408	
COCCION	57	33	71,425	8971	
E. DIRECTO	24,4	33	74,05	4258,8	
E. INDIRECTO	29,4	33	82,041	6326,6	
E. FINAL	29,4	33	54,842	2224,4	
				29176,3	29,1763 Kwh

Y finalmente para hallar la pérdida de calor por convección:

$$\dot{Q} = hA_s(T_s - T_\infty)$$

Pérdidas de calor por convección en el techo

Tabla 16. Pérdidas de calor por convección en el techo

TEMP. DE PELICULA TECHO (H)			
ZONA	TEMP. AMBIENTE (°C)	TEMP. ZONA (°C)	TEMP. PELICULA (°C)
PREHORNO	33	57	45
PRECALENTAMIENTO	33	75,1	54,05
COCCION	33	101,314	67,157
E. DIRECTO	33	50	41,5
E. INDIRECTO	33	126,885	79,9425
E. FINAL	33	66,757	49,8785

Propiedades del aire

Tabla 17. Propiedades del aire convección en techo

PROPIEDADES DEL AIRE						
ZONA	TEMP. PELICULA (°C)	CONDUCTIVIDAD TERMICA K (W/M *K)	VISCOSIDAD CINEMATICA V (M2/S)	TEMP PELICULA (°K)	NUMERO DE PRANDTL	COEFICIENTE VOLUMETRICO DE EXPASION TERMICA
PREHORNO	45	0,02699	1,750x10 ⁻⁵	318	0,7241	3,144x10 ⁻³
PRECALENTAMIENTO	54,05	0,02764	1,837x10 ⁻⁵	327,05	0,7217	3,057x10 ⁻³
COCCION	67,157	0,0286	1,966x10 ⁻⁵	340,157	0,7184	2,939x10 ⁻³
E. DIRECTO	41,5	0,02673	1,716x10 ⁻⁵	314,5	0,7251	3,179x10 ⁻³
E. INDIRECTO	79,942	0,02952	2,096x10 ⁻⁵	352,942	0,7154	2,833x10 ⁻³
E. FINAL	49,878	0,02734	1,796x10 ⁻⁵	322,878	0,7228	3,097x10 ⁻³

Determinando el número de nusselt

Tabla 18. Número de nusselt por convección en techo

DETERMINACIÓN DEL NUMERO DE NUSSOLT						
ZONA	TEMP. AMBIENTE (°C)	LONG. DE CONFIGURACION GEOMETRICA (L)	VISCOSIDAD CINEMATICA (M2/S)	NUMERO DE GRASHOF	NUMERO DE RAYLEIGH	NUMERO DE NUSSOLT
PREHORNO	33	14,7	1,750x10 ⁻⁵	7,67x10 ¹²	5,553x10 ¹²	828,9
PRECALENTAMIENTO	33	25,2	1,837x10 ⁻⁵	5,981x10 ¹³	4,316x10 ¹³	1384
COCCION	33	14,7	1,966x10 ⁻⁵	1,617x10 ¹³	1,161x10 ¹³	996,7
E. DIRECTO	33	6,3	1,716x10 ⁻⁵	4,497x10 ¹¹	3,260x10 ¹¹	408
E. INDIRECTO	33	14,7	2,096x10 ⁻⁵	1,884x10 ¹³	1,347x10 ¹³	1034,5
E. FINAL	33	14,7	1,796x10 ⁻⁵	1,008x10 ¹³	7,285x10 ¹²	887,1

Se halló el número de nusselt para una placa horizontal que emite calor hacia arriba:

$$Nu = 0.54 Ra_l^{1/4}$$

Coefficiente de convección

Tabla 19. Coeficiente de convección

COEFICIENTE DE CONVECCION		
ZONA	LONG. CARACTERISTICA (M)	COEFICIENTE DE CONVECCION
PREHORNO	3,7	6,046
PRECALENTAMIENTO	6,3	6,072
COCCION	3,7	7,704
E. DIRECTO	1,6	6,816
E. INDIRECTO	3,7	8,253
E. FINAL	3,7	6,554

Para hallar el coeficiente de convección, primero se calculó la longitud característica de la siguiente manera:

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{L^2}{4L} = \frac{L}{4}$$

Con este dato se calcula el coeficiente de convección:

$$h = \frac{k}{L_c} Nu$$

Pérdidas de calor por convección en placa horizontal

Tabla 20. Pérdidas de calor por convección en placa horizontal

CALOR PERDIDO POR CONVECCION NATURAL AL EXTERIOR DEL HORNO				
ZONA	AREA DE TRANSFERENCIA (M2)	TEMP. AMBIENTE (°C)	TEMP. ZONA (°C)	FLUJO DE CALOR POR CONVECCION (W)
PREHORNO	29,4	33	44,753	2089
PRECALENTAMIENTO	97,8	33	52,7	11698,6
COCCION	57	33	71,425	16873,4

E. DIRECTO	24,4	33	74,05	6827	
E. INDIRECTO	29,4	33	82,041	11899,2	
E. FINAL	29,4	33	54,842	4208,6	
					53595,8

53,5958 Kwh

$Q_{tc} = 82,7721 \text{ Kwh}$

Pérdidas de calor por radiación

Tabla 21. Pérdidas de calor por radiación

PERDIDAS DE CALOR POR RADIACIÓN								
ZONAS	COEFICIENTE DE STEFAN - BOLTZMAN $N \text{ W/M}^2 * K^4$	EMISIVIDAD	TEMP. SUPERFICIE ($^{\circ}C$)	TEMP. ($^{\circ}K$)	TEMP. ALREDEDOR ($^{\circ}C$)	TEMP. ($^{\circ}K$)	AREA DE TRANSFERENCIA M^2	FLUJO DE CALOR DISIPADO POR RADIACION (W)
PREHORNO	$5,67 \times 10^{-8}$	0,32	48,835	321,835	37,714	310,71	35,28	901,139
PRECAL.	$5,67 \times 10^{-8}$	0,32	60,166	333,166	38,75	311,75	60,48	3155,304
COCCION	$5,67 \times 10^{-8}$	0,32	81,387	354,387	43	316	35,28	3713,763
E. DIRECTO	$5,67 \times 10^{-8}$	0,32	74,049	347,049	44,5	317,5	15,12	1191,89
E. INDIRECTO	$5,67 \times 10^{-8}$	0,32	96,987	369,987	58,5	331,5	35,28	4264,91
E. FINAL	$5,67 \times 10^{-8}$	0,32	58,813	331,813	45,5	318,5	35,28	1172,348
							14,39935	14399,354

14,39935 Kwh

Se calcula la pérdida de calor por radiación con la siguiente fórmula:

RADIACIÓN

$$q_R = A \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{alred}^4)$$

q_R = Tasa de transferencia de calor por radiación. (Watt)

σA = área de transferencia de calor. (m²)

= constante adimensional igual a $5.67 \cdot 10^{-8}$. (Watt/m²K⁴)

T = Temperatura, K

ε = emisividad $0 \leq \varepsilon \leq 1$

$$Q_s = Q_c + Q_r$$

$$Q_s = 97,01 \text{ Kwh}$$

6.1.6 Pérdidas en la chimenea de gases de combustión. Para calcular las pérdidas por chimenea se cuenta con un estudio de la composición química de los gases de escape, la cual es suministrada por la empresa:

Tabla 22. Pérdidas en la chimenea de gases de combustión

Empresa :	Ceramica Italia			Empresa operadora	EQUISAM S.A.S				
Fuente :	Horno No 5			Operador	Diego A. Trujillo				
Combustible	Gas Natural			Fecha monitoreo	27/04/2021				
Datos del analisis Orsat									
Muestreo				Hora de Inicio	8:40	Hora de Terminar	9:40		
	Volumen	Volumen	Volumen	Concent.	Concent.	Concent.	Concent.	Peso	Desviacion
Tiempo	Dioxido	Oxigeno	Monoxido	Dioxido	Oxigeno	Monoxido	Nitrogeno	Molecular	Peso
	Carbono		Carbono	Carbono		Carbono		Seco	Molecular
	(V _{CO₂})	(V _{O₂})	(V _{CO})	(%CO ₂)	(%O ₂)	(%CO)	(%N ₂)	(M _d)	(ΔM _d)
hh:mm	ml	ml	ml	percent	percent	percent	percent	g/g-mole	g/g-mole
	2,5	19,7	19,7	2,5	17,2	0,0	80,3	29,09	-0,02
	2,2	19,0	19,0	2,2	16,8	0,0	81,0	29,02	-0,02
	2,2	19,0	19,0	2,2	16,8	0,0	81,0	29,02	-0,02
	Resultados		Promedio	2,3	16,9	0,0	80,8	29,05	
Fact. del Combustible, Calculado		(F _{O₂}) _{ag}	1,725	SI	Desviacion Peso Molec. < 0.3?			F _{LSO}	
Exceso de Aire, Calculado		(%EA) _{ag}	385,8	percent	Fact. Combustible en el Rango?			FALSO	

La cantidad de calor que es liberada al ambiente en forma de gases de escape, y no es aprovechada se determina por medio de la primera ley de la termodinámica, es de suma

importancia realizar la suposición dados los resultados del estudio realizado a los gases de combustión, que a los gases de escape se le determina las propiedades químicas como un gas ideal (aire).

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_{ch} = V_{aire} \left[\frac{m^3}{h} \right] * D_{aire} \left[\frac{Kg}{m^3} \right] * C_{Paire} \left[\frac{Kcal}{kg C} \right] * [T_{gases} - T_{ambiente}] [^{\circ}C]$$

$$Q_{ch} = 34000 \left[\frac{m^3}{h} \right] * 0,664 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] * 0,24 \left[\frac{Kcal}{kg C} \right] * [230 - 33] [^{\circ}C]$$

$$Q_{ch} = 1067393 \left[\frac{Kcal}{h} \right] = \mathbf{1240,5 [Kwh]}$$

6.1.7 Balance de energía

Tabla 23. Balance de energía

ITEM	Kwh	Kwh/mes	Mwh/año	%
CALOR UTIL	1603	1154160	13850	23,3
FUGAS AIRE CALIENTE	76,1	54792	657,504	1,1
GASES DE REFRIGERACIÓN	1720	1238400	14861	25,1
ENFRIAMIENTO	1988	1431360	17716,3	29,8
CONVECCION Y RADIACIÓN	97,01	69852,34	838,228	1,4
GASES DE COMBUSTIÓN	1240,5	893160	10718	18,1
MOTORES Y TABLERO	85,02	61219,01	734,572	1,2
TOTAL	6809,63	4902943,35	59375,604	100

Analizando los resultados se aprecia que las pérdidas de energía más importante se presentan en la zona de enfriamiento y en las chimeneas , la primera se puede disminuir regulando la presión de entrada de aire ambiente a las zonas de enfriamiento, realizando pruebas las cuales no afecten

la calidad del producto final, esto para reducir la destrucción de energía térmica la cual puede ser aprovechada en el sistema, en otro proceso térmico de la planta o para la generación de trabajo mecánico (Turbina).

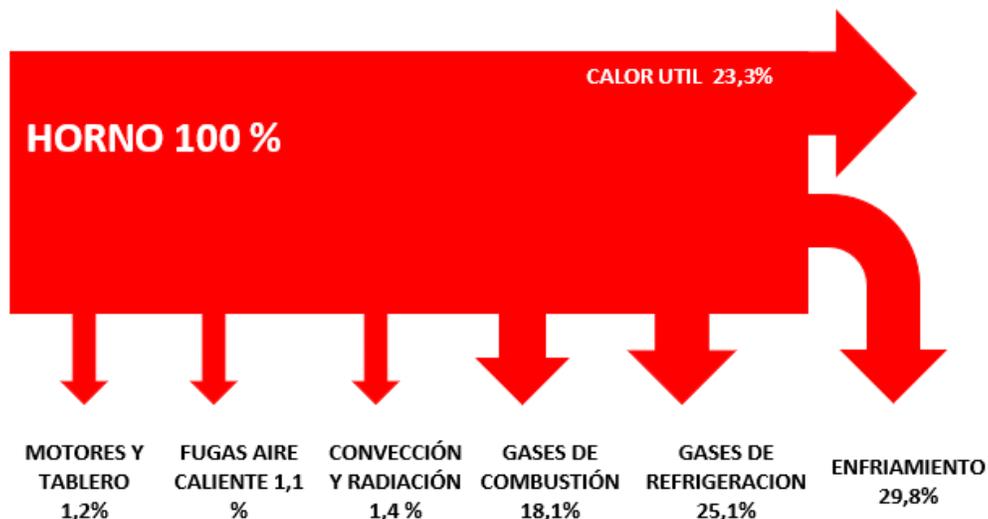


Figura 72. Diagrama sankey

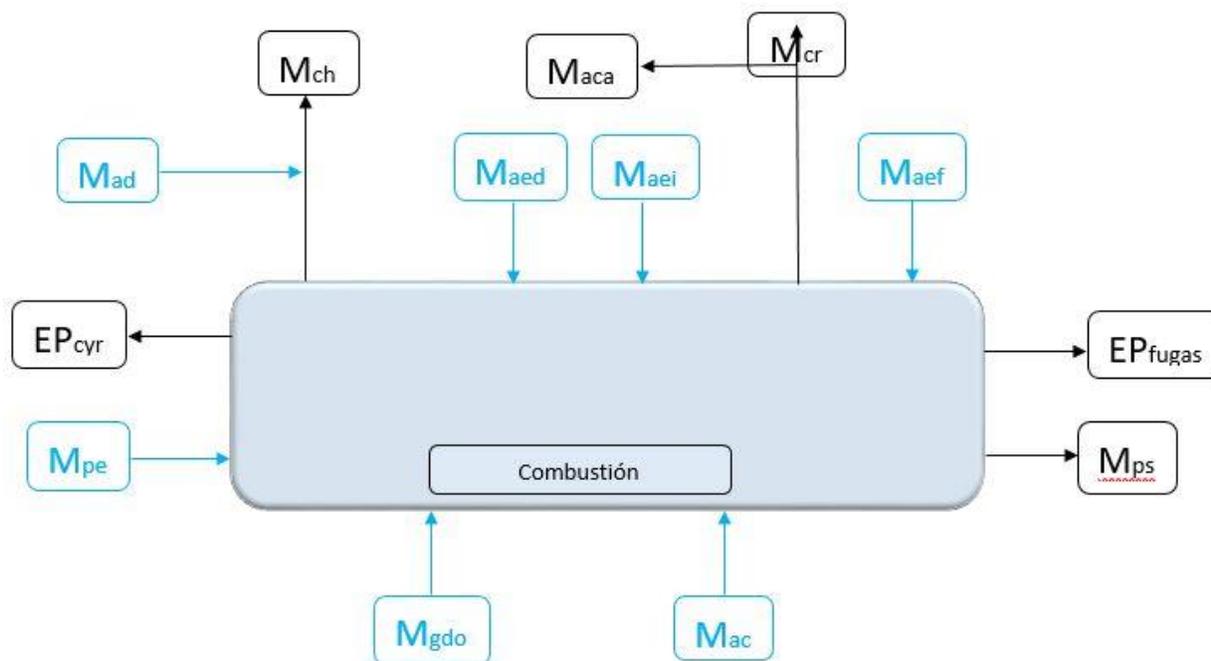


Figura 73. Flujos presentes en el horno

M_{pe} = producto de entrada

M_{ps} = producto de salida

M_{gdo} = gas natural

M_{ac} = aire de combustión

M_{aed} = aire enfriamiento directo

M_{aei} = aire enfriamiento indirecto

M_{aef} = aire enfriamiento final

M_{cr} = chimenea refrigeración

M_{aca} = aire caliente aprovechado

EP_{cyr} = perdidas por convección y radiación

EP_{fugas} = perdidas por fugas

M_{ch} = chimenea de humos

M_{ad} = aire de dilución

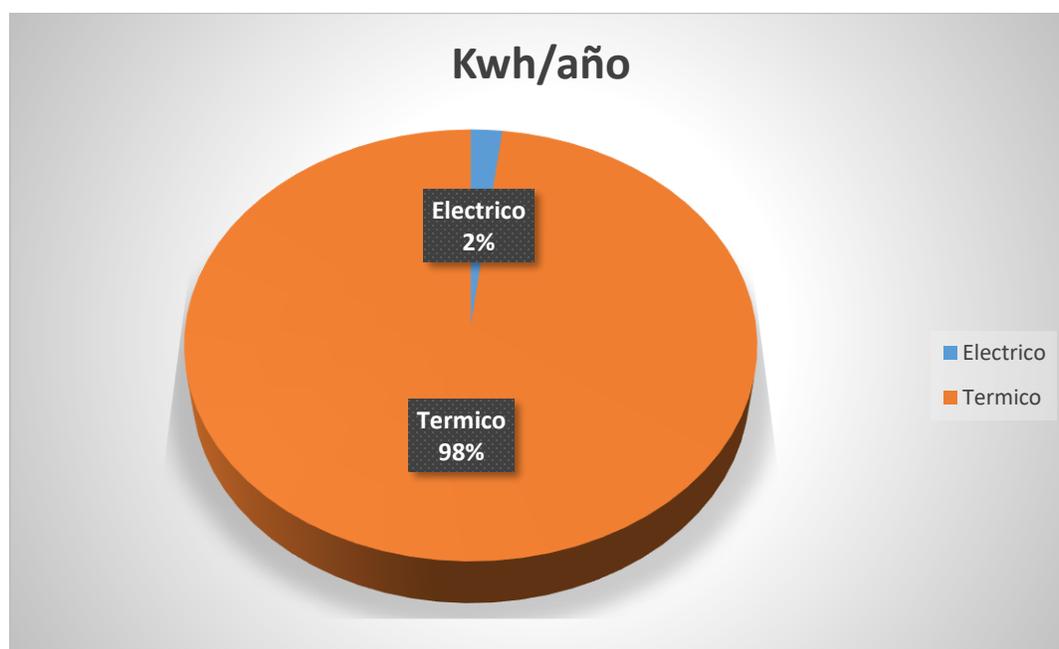


Figura 74. Esquema energía térmica y eléctrica

6.2 Objetivo específico 2. Diagnóstico de los puntos críticos de pérdida de energía térmica.

Para el cumplimiento de este objetivo se realizó un barrido completo del horno, haciendo una inspección visual y con cámara termográfica para identificar puntos críticos de pérdidas de energía térmica, también teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el estudio del horno y realizando un control en las tuberías y quemadores verificando que no se encontraran fugas de gas.

Actividad. Control general del horno

6.2.1 Aislamiento. Para detectar posibles puntos de pérdidas de energía térmica en el Horno de rodillos # 5, con la ayuda de los técnicos operarios de los hornos, los cuales son los encargados del buen funcionamiento y acondicionamiento de este, se realizó un barrido completo en todas las zonas del horno para encontrar posibles puntos de pérdidas de energía térmica.

Lo primero que se notó es el mal “algodonado” en el plano de rodillos, se debe aislar con fibra cerámica en medio de ellos para así evitar fugas de calor, a su vez se identificaron varios rodillos los cuales no contaban con aislamiento por su parte interna, lo que produce pérdidas de calor.



Figura 75. Mal aislado del plano de rodillos



Figura 76. Rodillo sin aislamiento

También se realizó una inspección por el techo del horno revisando posibles puntos de fugas de calor, se evidencio el mal estado del techo, con grietas a lo largo de este en la zona de cocción y precalentamiento, generando que aumenten las pérdidas por convección y radiación, además las chicanas y mamparos estaban en muy mal estado, la mayoría con zonas sin fibra cerámica lo que permitía la salida de calor al ambiente y el ingreso de aire ambiente a la atmósfera del horno lo cual es perjudicial para el proceso.



Figura 77. Chicanas



Figura 78. Mamparos



Figura 79. Techo del horno

El horno cuenta con 4 chicanas y 2 mamparos, la función de las chicanas es dividir las zonas del horno, y la de los mamparos es que no pase el aire de enfriamiento entre las zonas y pueda ocasionar rotura por el choque térmico. Las chicanas cuentan con un ceraboard de 1 pulgada y el

orificio de entrada de estos es de 4.5 cm, por lo que se tiene un área de 0.048 m² de fugas de calor por el mal algodónado en 3 puntos.

Los mamparos por su parte cuentan con una lámina de acero de 2 mm y el orificio es de 4.5 cm, el área de fuga de calor en los mamparos es de 0.1032 m² por el mal algodónado, estas pérdidas se registran en 2 puntos en la zona de enfriamiento final.

6.2.2 Pérdidas de energía térmica en las chimeneas. Finalizado el estudio de la eficiencia energética del horno, queda en evidencia que una de las pérdidas de calor más grandes presentes en el sistema se da en la chimenea de gases de combustión y en la de aspiración final, esta energía térmica con buen potencial de aprovechamiento debido a las altas temperaturas que presentan, está siendo desperdiciada en el ambiente, lo que conlleva a que la eficiencia energética del horno sea baja.



Figura 80. Chimenea de gases de combustión

Esta chimenea de gases de combustión se encuentra ubicada en la zona del Prehorno, y como su nombre lo dice se encarga de aspirar los gases producidos por la combustión generada en el interior del horno, presenta una temperatura promedio de 230°C, la pérdida de energía térmica que se registra en esta chimenea es de 1183 Kwh lo que representa un 17,7% de la energía empleada en el horno, esta chimenea tiene un gran potencial de aprovechamiento, pero se debe adecuar el uso de este aire caliente debido a los contaminantes presentes en este.



Figura 81. Chimenea de gases de refrigeración

La chimenea de gases de refrigeración ubicada en la parte final del horno, es la encargada de enviar al ambiente los gases producto del enfriamiento directo, indirecto y final, esta representa uno de los focos de mayor pérdida de energía térmica del horno, entregando a la atmosfera una temperatura promedio de 162°C , la perdida de calor generada en esta chimenea es de 1590 Kwh, lo que representa un 23,78% de la energía empleada en el horno.

Debido a que el aire sale por esta chimenea es producto de la zona de enfriamiento, tiene un buen potencial de aprovechamiento ya que no tiene contaminantes, este aire caliente podría ser usado directamente en el sistema u en otro proceso térmico de la planta.

6.2.3 Fugas de gas. Para descartar posibles fugas, pero en este caso de gas, se realizó un barrido general en toda la zona del horno revisando cada una de las tuberías, desde la rampa de gas por donde ingresa el combustible enviado desde la subestación, hasta cada uno de los quemadores, tanto en el lado motorizado como en el lado libre, esto con el fin de encontrar alguna fuga que pueda estar provocando una pérdida de gas, lo que conllevaría a un aumento del consumo de combustible o hasta un posible riesgo de accidentes.

Esta revisión está a cargo de los mecánicos de mantenimiento del horno, los cuales mensualmente realizan una inspección general, con el fin de encontrar puntos de fugas de gas para dar solución a estas de manera oportuna, para contribuir con el buen funcionamiento y trabajo del horno.



Figura 82. Revisión fugas de gas



Figura 83. Detector de fugas de gas

Al finalizar la inspección se registraron fugas de gas, cada una de ellas en el lado libre, la principal fuga se presentó en una manguera que conecta la tubería de gas con el quemador, debido a que era una manguera de suma importancia se realizó el cambio de manera inmediata, así mismo se registraron fugas en 6 selenoides, a los cuales se les marca con una cinta para a la hora del cambio saber cuáles son los que están presentado fuga.

Esto genera un aumento en el consumo de combustible el cual no se está aprovechando, así mismo por la fuga de gas se puede presentar un accidente por lo que es necesario tomar con más responsabilidad esta revisión de fugas.

6.2.4 Cámara termográfica. Para tener una mejor perspectiva y visión de los puntos donde se genera la mayor pérdida de energía térmica, se procedió a realizar un análisis termográfico en el horno, utilizando para esto una cámara térmica especializada para identificar los puntos más críticos de pérdidas de calor en el horno, los cuales a simple vista no pueden ser detectados ya que este es un fenómeno de térmico.

El análisis termográfico es una herramienta muy útil empleada en el mantenimiento, ya que permite localizar defectos y evitar futuros problemas, el objetivo de este estudio es reducir los costes encontrando posibles puntos que puedan presentar fallas y así evitar el perder recursos, con esto también podemos ir directamente a la falla lo cual genera reducciones en los tiempos de trabajo y aumentamos la vida útil de las instalaciones subsanando de manera efectiva la falla que presenta o puede presentar la instalación.

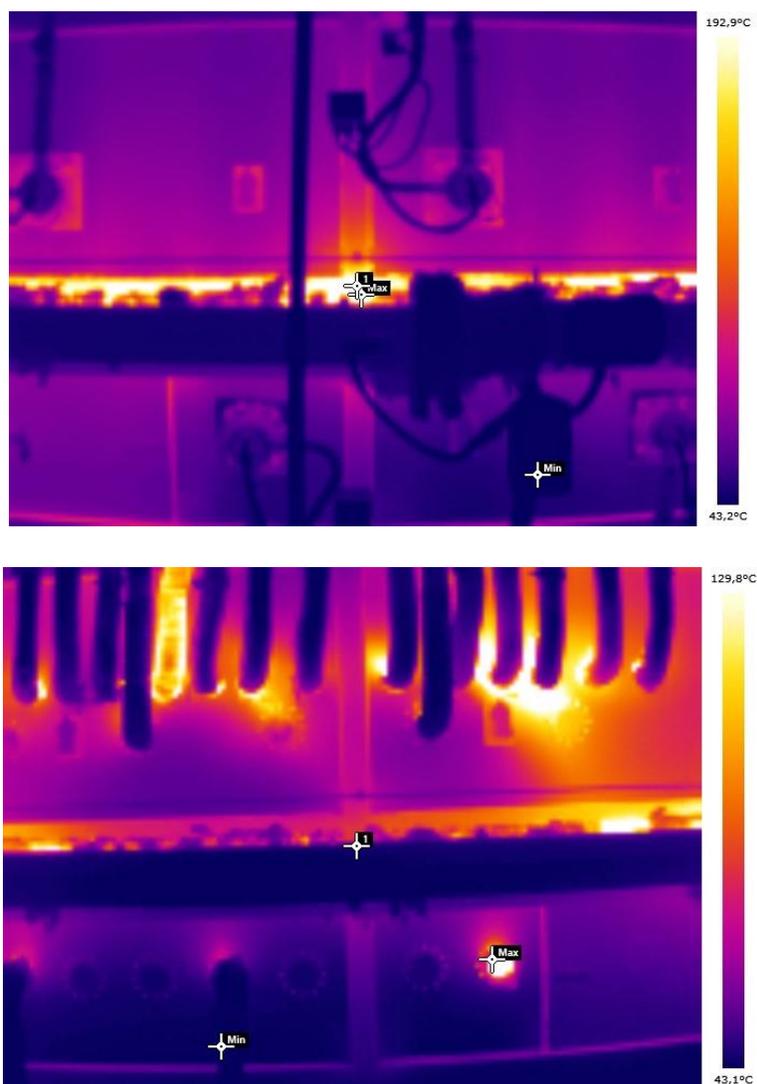


Figura 84. Lado motorizado (T)

Fuente: Cerámica Italia S.A

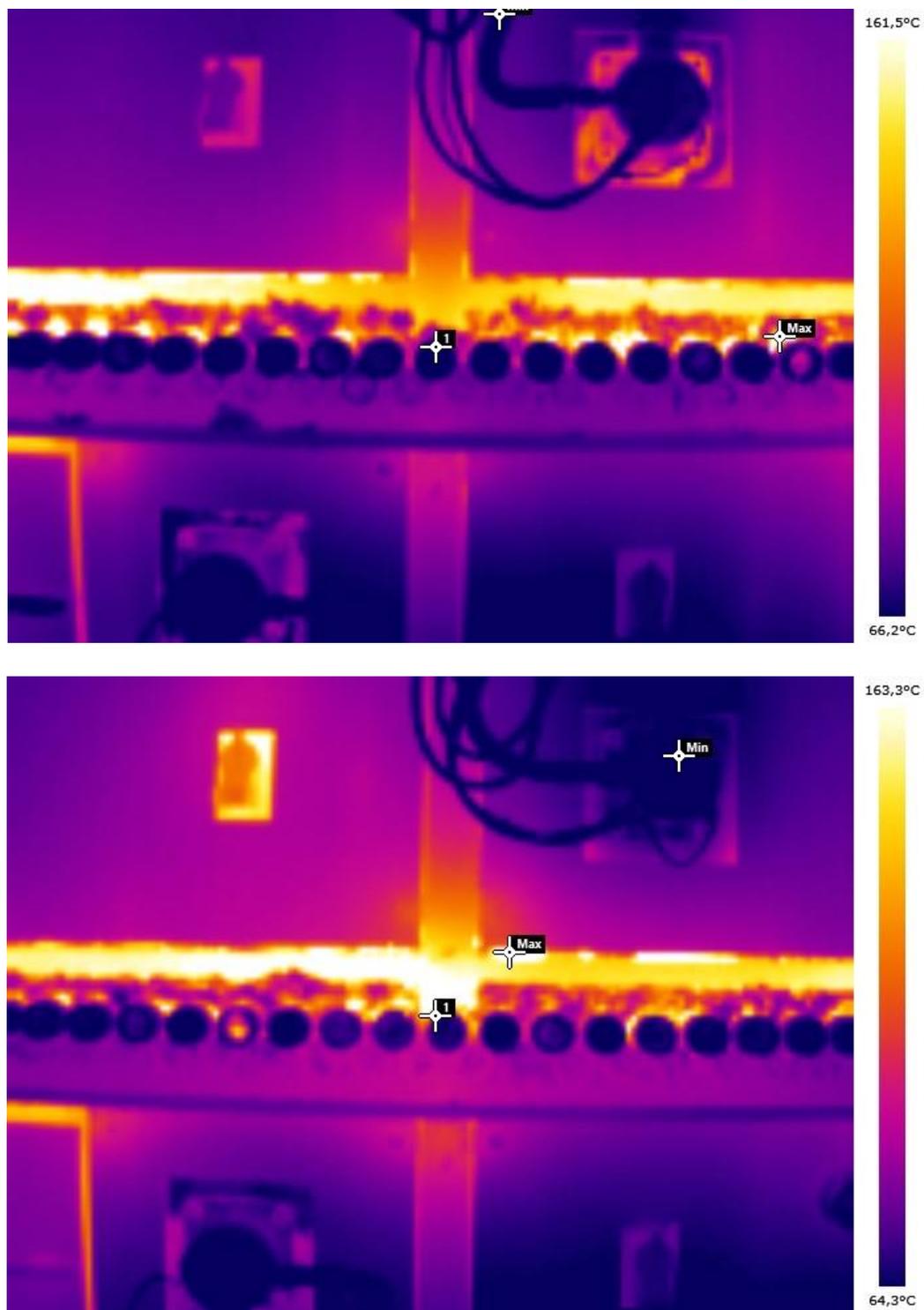


Figura 85. Lado libre (T)

Fuente: Cerámica Italia S.A

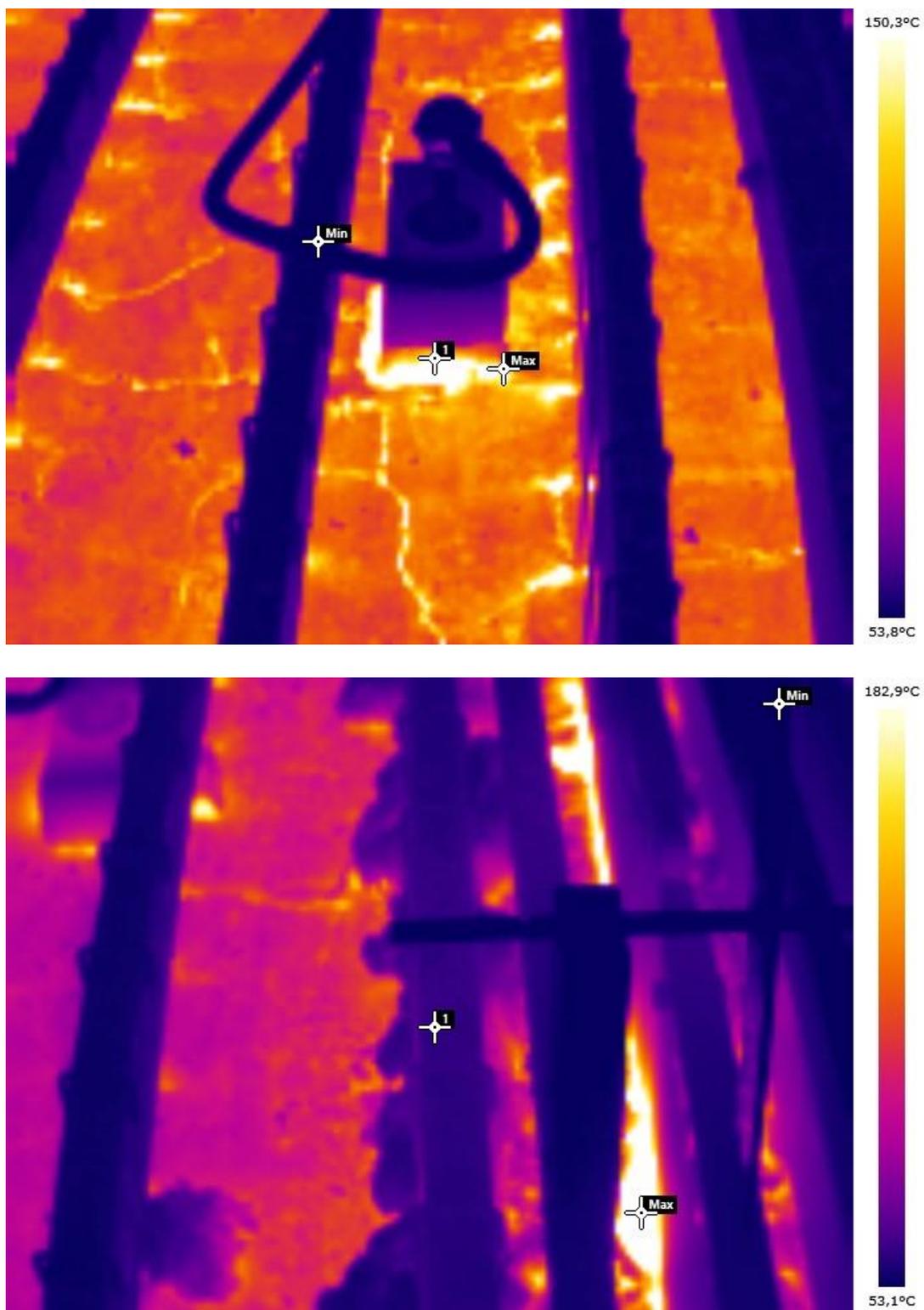


Figura 86. Techo del horno (T)

Fuente: Cerámica Italia S.A

Terminado el análisis termográfico, se pudo determinar los puntos de pérdidas de energía térmica, que son:

1. El mal estado del aislamiento en todo el plano de rodillos desde la zona de precalentamiento hasta la zona de cocción, tanto por el lado motorizado, como por el lado de rodillos, generando fugas de calor y permitiendo el ingreso de aire ambiente a la atmosfera del horno lo que puede causar inconvenientes en la carga, generando que el horno cuente con una baja eficiencia energética.
2. Por otro lado, está el lamentable estado del techo del horno, como se vio desde la inspección visual tiene grietas por todo el largo de la zona de cocción, se pudo confirmar su mal estado y concluir que es un conductor de pérdidas de energía térmica, contribuyendo así a una baja eficiencia energética del horno, generando que en temas de consumo de gas este deba gastar más.
3. Se realizo una matriz termográfica de todos los puntos tomados en el análisis, la cual se puede ver en el Anexo 3.

6.3 Objetivo específico 3. Alternativas para solucionar y aprovechar las pérdidas de energía térmica

A raíz de la evaluación de la eficiencia energética del Horno de rodillos # 5 SACMI FMS 2600, del diagnóstico del horno para encontrar posibles puntos críticos de pérdidas de energía térmica y de los puntos encontrados para el aprovechamiento de la energía térmica, se plantearán algunas alternativas de mejora y aprovechamiento de posible implementación para mejorar la eficiencia energética del horno.

Actividad. Planteamiento de alternativas

La eficiencia energética en las industrias ha mejorado en los últimos años, y de los puntos principales a la hora de hablar de eficiencia energética es la recuperación de calor residual emitidos por los sistemas generadores de estos, se estima que el 20 – 50% de la energía utilizada se pierde en la industria en forma de gases de escape caliente, por convección y radiación y por los métodos de refrigeración.

6.3.1 Mejorar el aislamiento del horno. Tras finalizada la inspección general del horno, como ya se había descrito anteriormente, el mal “algodonado” entre rodillos y dentro del mismo, así como el mal estado del revestimiento en la zona del techo se procede a dar las siguientes recomendaciones:

La zona del plano de rodillos y el interior de los rodillos para evitar las pérdidas de calor por fugas y generar una mayor hermeticidad, debe estar “algodonada”, esto quiere decir taponar estos orificios donde se presentan fugas con fibra cerámica, la cual es un aislante térmico con muy poca conductividad y gran resistencia a las altas temperaturas, se recomienda realizar un mejor aislamiento por parte del operario encargado de esta área, taponando las zonas donde a simple vista se ve la pérdida y cambiando la fibra cerámica desgastada la cual no está realizando su trabajo de manera correcta.



Figura 87. Fibra cerámica para aislar

El área del techo, en la zona de cocción se encuentra en muy mal estado, está se conforma por ladrillos refractarios, los cuales están sujetos a la estructura del horno, sobre estos ladrillos se colocan capas de manta de fibra cerámica permitiendo así que el horno mantenga su temperatura en la bóveda y no se pierda en el ambiente por fugas o por convección y radiación, se recomienda cambiar toda esta manta cerámica en esta zona, la cual se encuentra en muy mal estado con grietas por toda la zona de cocción donde se registra la temperatura más alta; programando un mantenimiento preventivo o aprovechando alguna parada que se presente para realizar el cambio de esta manta, permitiría mejorar la eficiencia energética por lo que mantendría la temperatura en la cámara de cocción del horno.



Figura 88. Manta cerámica

Otra alternativa que se presenta ante esta problemática, es usar mortero aislante, el cual consiste es una mezcla de conglomerantes con aditivos que le confieren propiedades, el conglomerante puede ser: cemento, yeso, resina sintética, entre otros, los aditivos pueden ser fibras de lana mineral, perlas de EPS, perlita o vermiculita.

Esta alternativa consistiría en aplicar el mortero en el área del techo donde se presentan las grietas para así evitar las pérdidas por esta zona, así mismo se recomienda después de aplicar el mortero aislante, cubrir con una nueva manta cerámica esta zona ya que la existente presenta mucho desgaste por el tiempo de uso.

6.3.2 Cogeneración eléctrica. En cualquier industria el calor residual proviene de los productos o subproductos derivados de un proceso específico, en este caso el calor residual es generado en el proceso de cocción de revestimiento cerámico, más específicamente en el horno de rodillos # 5 de la Planta de Cerámica Italia, dicho calor residual puede aprovecharse para la generación de energía eléctrica.

No obstante, existe un problema al considerar el calor residual para la generación eléctrica y es la baja temperatura de los procesos, la cual no tiene suficiente presión de vapor para operar una turbina de manera eficiente.

El Ciclo Rankine es el medio por el cual se genera la mayor cantidad de energía eléctrica, produciendo un 85% de la electricidad a nivel mundial.

Para la generación de energía eléctrica a partir del calor residual en las industrias a temperatura media (150 – 350°C), para ello se creó una variante del Ciclo Rankine convencional, el Ciclo Rankine Orgánico (ORC) el cual en vez de utilizar agua como fluido de trabajo, se utiliza un fluido orgánico el cual posee una temperatura de ebullición menores que el agua.

El principio del Ciclo Rankine Orgánico, se basa en un turbo generador el cual transforma la energía térmica en energía mecánica y finalmente en electricidad a partir de un generador, también cuenta con un evaporador, condensador y una bomba.

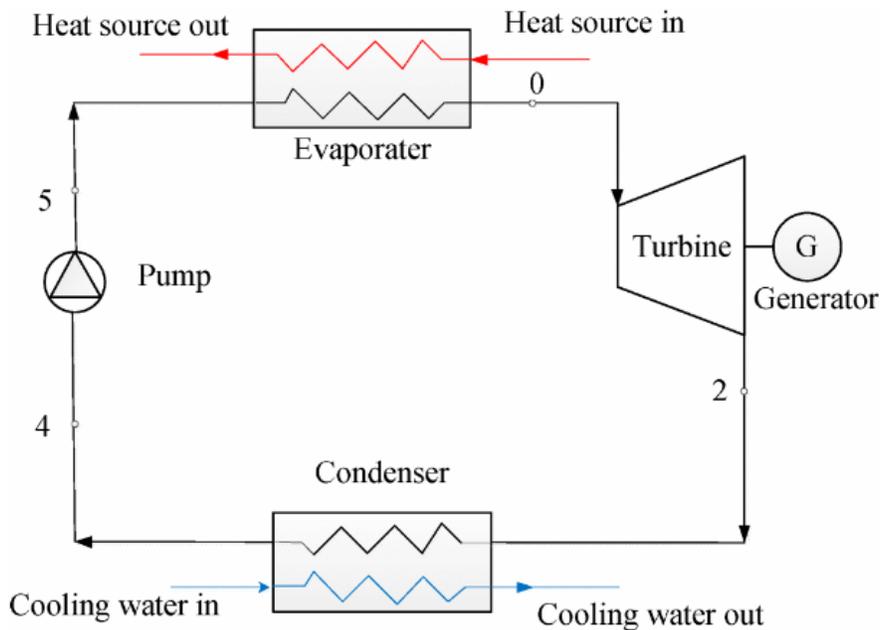


Figura 89. Esquema simple Ciclo Rankine Orgánico

Fuente: (Maximizando la eficiencia del calor residual - Ikera HH)

Esta aplicación podría emplearse en el horno, más específicamente en la chimenea de enfriamiento indirecto y aspiración de aire caliente, la cual se caracteriza por ser una fuente térmica de gases limpios y de alta temperatura, esta temperatura se mantiene alrededor de los 150 a 200°C.

Esta tecnología ya ha sido implementada en la industria en general, presente en más de 300 plantas, capaces de generar de 500 KW y 2 MW y mitigando así el impacto ambiental, esta energía eléctrica es mayormente usada en la misma planta y en ocasiones en la misma máquina, lo que la hace ser autosuficiente.

A continuación, se presentarán algunos de los fluidos de trabajo que según la literatura son los más usados en estudios relacionados con generación de energía eléctrica mediante ORC.

Tabla 24. Fluidos de trabajo

Designación ASHRAE	Formula química	Peso molecular (Kg/kmol)	Temperatura de saturación a 1 atm(°C)	Temperatura crítica (°C)	Presión crítica (bar)	OD P	GWP	Clasificación grupo de seguridad	Clasificación tipo de sustancia	Clasificación Húmedo/seco /Isoentrópico
R11	CCl_3F	137.4	23.89	197.95	44.66	1	4750	A1	Pura	
R12	CCl_2F_2	120.9	-22	111.97	41.36	0.82	1090	A1	Pura	
R32	CH_2F_2	52	-52.22	78.15	57.82	0	716	A2L	Pura	Húmedo
R41	CH_3F	34	-78.33	44.25	58.7	0	92		Pura	
R113	CCl_2FCClF_2	187.4	47.78	214.15	34.1	0.85	6130	A1	Pura	
R114	$CClF_2CClF_2$	170.9	3.33	145.7	33.93	0.58	9180	A1	Pura	
R123	$CHCl_2CF_3$	153	27.22	183.81	36.75	0.01	77	B1	Pura	Isoentrópico
R125	CHF_2CF_3	120	12.78	66.07	36.19	0	3420	A1	Pura	
R134a	CH_2FCF_3	102	-26.11	100.95	40.6	0	1370	A1	Pura	Húmedo
R141b	CH_3CCl_2F	117	32.22	204.35	41.94	0.1	725		Pura	Isoentrópico
R143a	CH_3CF_3	84	-47.22	72.82	37.64	0	4180	A2L	Pura	Húmedo
R152a	CH_3CHF_2	66	-23.88	113.35	45.16	0	133	A2	Pura	Húmedo
R170	CH_3CH_3	30	-88.89	32.15	49	0	5.5	A3	Pura	
R218	$CF_3CF_2CF_3$	188	-37.22	71.95	61.84	0	8830	A1	Pura	
R227ea	CF_3CHFCF_3	170	-16.11	101.68	29.12	0	3580	A1	Pura	Seco
R236fa	$CF_3CH_2CF_3$	152	-1.67	124.9	31.99	0	9820	A1	Pura	
R245fa	$CF_3CH_2CHF_2$	134	15	153.86	36.51	0	1050	B1	Pura	Seco
R290	$CH_3CH_2CH_3$	44	-42.22	96.75	42.5	0	20	A3	Pura	Húmedo
RC318	$-(CF_2)_4-$	200	-6.11	115.31	27.84	0	1030	A1	Pura	
R600	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	58.1	-0.56	151.85	38	0	20	A3	Pura	Seco
R600a	$CH(CH_3)_2CH_3$	58.1	-11.67	134.55	36.5	0	20	A3	Pura	Isoentrópico
R601a	$(CH_3)_2CHCH_2CH_3$	72.15	27.78	187.85	33.81	0	20	A3	Pura	Seco
R717	NH_3	17	-33.33	132.25	113	0	<1	B2L	Pura	
R1270	$CH_3CH=CH_2$	42.1	-47.79	92.05	46	0	20	A3	Pura	
R407C	R-32/125/R134a (23/25/52)	86.2	-43.78	86.74	46.2	0	1700	A1	Mezcla zeotrópica	
R500	R-12/152a (73.8/26.1)	99.2	-32.78	102.1	41.7	0.605	8100	A1	Mezcla azeotrópica	

Fuente: (ASHRAE, 2013)

Para la aplicación de Ciclo Rankine Orgánico ORC, se debe cumplir con ciertas características técnicas, dependiendo tanto de la fuente de calor como del medio ambiente que rodea el equipo, a continuación, se presentara una tabla con algunos datos referente a un sistema Ciclo Rankine Orgánico ORC:

Tabla 25. Datos técnicos equipo ORC

Datos Técnicos		HT1	HT2	HT3	HT4	
	Fuente de calor	Fluido caloportador *	Ac. térmico	Ac. térmico	Ac. térmico	Ac. térmico
		Temperatura de entrada (°C)	150-180	150-180	150-180	150-180
		Temperatura de salida (°C)	110-140	110-140	110-140	110-140
		Caudal volumétrico (m³/h)	13	26	56	112
		Potencia térmica (kWt)	200-300	400-600	850-1.350	1.700-2.700
		Diámetro conexiones (PN16)	DN65	DN80	DN100	DN150
		Pérdida de carga (kPa)	100	100	100	125
Vol. interior fluido caloportador (L)	20	45	100	160		
	Calor útil	Fluido caloportador	Agua	Agua	Agua	Agua
		Temperatura de entrada (°C)	20-40	20-40	20-40	20-40
		Temperatura de salida (°C)	30-50	30-50	30-50	30-50
		Caudal volumétrico (m³/h)	17	36	77	154
		Potencia térmica (kWt)	150-200	300-450	600-950	1.200-1.900
		Diámetro conexiones (PN16)	DN65	DN100	DN150	DN150
		Pérdida de carga (kPa)	125	125	125	125
Vol. interior fluido caloportador (L)	15	45	100	160		
	Electricidad	Potencia bruta (kWe)	20-30	40-65	90-140	180-280
		Potencia neta (kWe)	18-25	35-55	80-120	160-240
		Tensión (V)	3 x 400	3 x 400	3 x 400	3 x 400
		Frecuencia (Hz)	50/60	50/60	50/60	50/60
		Intensidad (A)	54	122	220	440
Datos	Conexión	RJ45	RJ45	RJ45	RJ45	
Dimensiones	A – Largo (mm)	3.350	4.850	5.500	6.000	
	B – Ancho (mm)	1.550	2.050	2.250	2.250	
	C – Alto (mm)	2.200	2.500	2.500	2.500	
Peso	kg	5.500	6.500	8.000	10.000	
Transporte en contenedor (opcional)		DC 20'	HC 20'	HC 20'	HC 20'	

* El fluido caloportador puede ser agua, vapor o aceite térmico

DC (dry container), HC (high cube)

Fuente: (Equipos Ciclo Rankine Orgánico - RANK)

6.3.3 Pre calentamiento del aire de combustión. Pre calentamiento del aire de combustión es una alternativa para mejorar la eficiencia energética, una opción buena y muy fácil de implementar, se calcula que solo subiendo la temperatura del aire de combustión 20°C la eficiencia aumentaría en un 1%.

Un sistema de pre calentamiento del aire de combustión incrementa la eficiencia general del sistema minimizando así sus costos operativos, la utilización de este sistema resulta dar un uso más eficiente de la energía consumida e implica menores costos operativos de combustible, el

rendimiento general estimado que se obtiene al utilizar este sistema puede superar el 93%.
(Precalentar el aire de combustión - Recursos Empresas,2016)

El Horno de rodillos # 5 SACMI FMS 2600, cuenta con un sistema de precalentamiento llamado “sistema BSR” el cual consiste en un intercambiador de calor con tubos transversales al horno instalado en la zona del enfriamiento directo, por donde circula el aire y adquiere temperatura antes de ingresar a realizar la combustión en los quemadores.

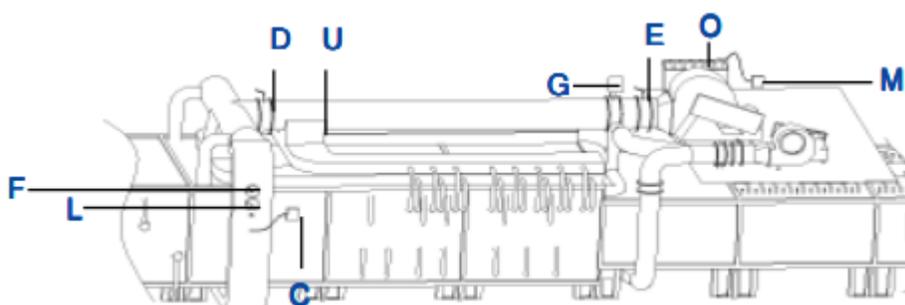


Figura 90. Sistema BSR

Fuente: (MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO HORNO 5 -SACMI)

Este sistema BSR para el precalentamiento del aire de combustión no está en funcionamiento hace muchos años, debido a que en el momento de su uso por encontrarse en la zona de enfriamiento directo, la cual es crítica por el cambio de temperatura brusco que sufre la baldosa, el intercambiador circulando el aire ambiente por la zona, adquiriría temperatura provocando que esta bajara, esto generaba rotura en la producción de baldosas, por lo tanto tomaron la decisión de inhabilitar este sistema para que no se presentaran complicaciones con la producción.

Se recomienda empezar nuevamente las pruebas en el horno con este sistema, con el fin de regular el intercambiador para que pueda ser usado, los conocimientos adquiridos podrían mejorar la manera de ajustarlo para nuevamente activar este sistema de precalentamiento, el cual mejoraría la eficiencia energética del horno y se vería reflejado en ahorros en el consumo de combustible.

Otra alternativa para el precalentamiento del aire de combustión por si el sistema BSR no arroja resultados positivos, consistiría en realizar una conexión a la chimenea de aspiración de aire caliente y de enfriamiento indirecto, el cual en vez de aspirar aire ambiente para el proceso de combustión, aspire aire caliente de la chimenea, con este sistema se estaría mejorando la eficiencia energética del horno por medio del precalentamiento del aire de combustión y se aprovecharía el aire caliente de la zona de aspiración final y enfriamiento indirecto el cual se desperdicia en la atmósfera por medio de la chimenea.

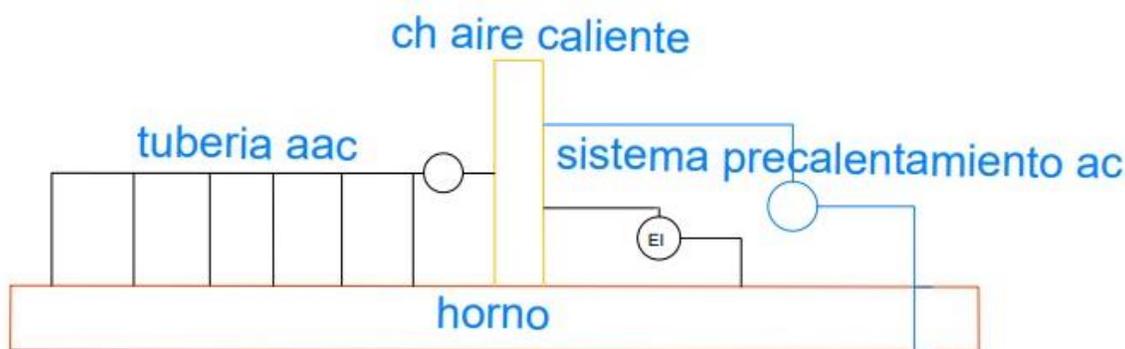


Figura 91. Esquema precalentamiento aire de combustión

6.3.4 Calor residual en otro proceso de la planta. En la zona de enfriamiento del Horno de rodillos # 5 SACMI FMS 2600, está la chimenea de aspiración de aire caliente del enfriamiento final y del enfriamiento indirecto, el cual puede ser aprovechado por ser considerado un aire limpio ya que este no presenta ningún residuo de combustión.

Este sistema se basaría en la reconducción de este aire caliente mediante tuberías o conductos aislados térmicamente y sistemas de propulsión (ventiladores) para ayudar al transporte de este y evitar que no llegue la mayoría de aire caliente y a la presurización en los conductos transportadores, todo esto con el fin de aprovechar este aire caliente generado por el horno, que la

mayoría de veces se desperdicia en el ambiente, para que sea útil en el sistema o en otro proceso térmico de la planta, en este caso los secaderos de la prensa.

Este aire caliente podría ser recirculado a cualquiera de los 5 secaderos que se encuentran en la planta, ya que las temperaturas del aire en la chimenea por contener aire caliente del enfriamiento final y del enfriamiento indirecto ronda de entre (150 a 200°C), y la temperatura de trabajo de los secaderos verticales ronda de entre los (150 a 170°C) y de los secaderos horizontales de (250 a 320°C).

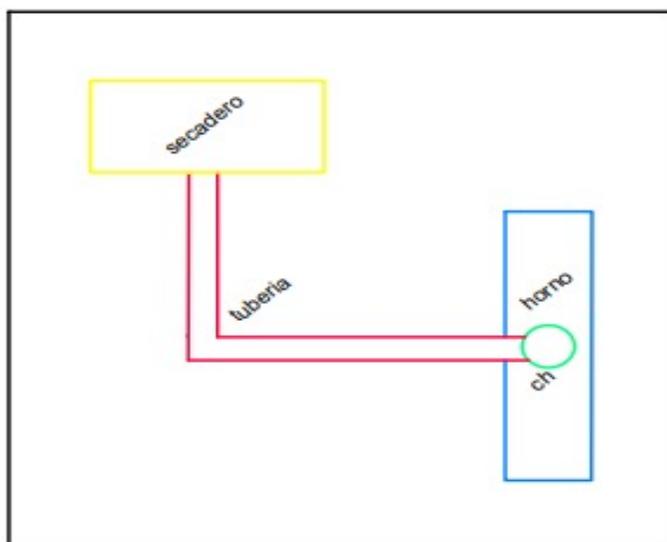


Figura 92. Esquema de recuperación de calor a los secaderos

Implementando este sistema, toda la energía térmica necesaria para el proceso de secado no sería solamente administrada por los quemadores del secadero, sino que estos solo aportarían una pequeña cantidad de energía térmica contribuyendo así al ahorro de consumo de gas natural en la planta.

Este sistema puede ser igualmente implementado hacia los atomizadores, que es el otro proceso que usa energía térmica, así mismo se puede implementar este mismo sistema en cada uno de los

secaderos debido a que la planta cuenta con 5 hornos de rodillos los cuales están siempre produciendo energía térmica que la mayoría se desperdicia al medio ambiente.

6.3.5 Intercambiador de calor. El intercambiador de calor o también llamado recuperador de calor es un equipo que transfiere continuamente calor de un medio a otro, de estos existen dos tipos, directos e indirectos.

El intercambiador de calor directo, donde ambos medios están en contacto entre sí, por ejemplo, en las torres de enfriamiento que el agua se enfría a través del contacto directo con el aire.

Intercambiador de calor indirecto, donde ambos medios están separados por una pared a través de la cual se transfiere el calor.

Para el caso de usar el intercambiador de calor como alternativa para el aprovechamiento de la energía térmica, se recomienda utilizar el intercambiador de placas indirecto.

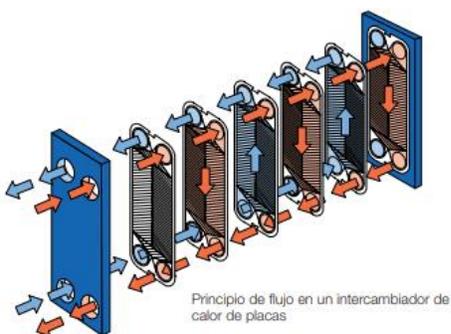


Figura 93. Intercambiador de placas

Fuente: (Intercambiadores de calor de placas - ALFA LAVAL)

La alternativa presentada se centra en un intercambiador de calor de placas el cual consiste en un intercambio de calor sin contacto entre fluidos, esto es lo que se requiere ya que esta alternativa se planea plantear para la chimenea de gases de combustión, la cual por su nivel de contaminantes no se aprovecha su energía térmica.

Una manera de usar el intercambiador es de manera equicorriente el cual consiste en que los fluidos ingresados al equipo van en la misma dirección, el intercambio se produce hasta alcanzar un estado próximo al equilibrio térmico, esto quiere decir que las temperaturas de los fluidos a la salida del intercambiador son cercanas, el fluido de menor temperatura no alcanzará una temperatura mayor que la del fluido más caliente.

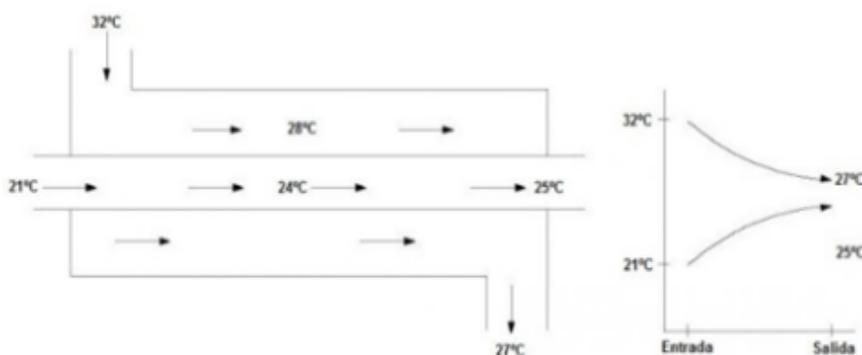


Figura 94. Esquema de flujo equicorriente

Fuente: (S&P, 2018)

La otra manera y la cual se recomienda usar es el flujo contracorriente en el cual los fluidos entran en el intercambiador por extremos opuestos, circulan en la misma dirección, pero en sentido contrario, en este sentido de trabajo la temperatura del fluido frío puede ser más alta que la temperatura del fluido caliente a la salida del intercambiador, por lo que es más eficiente desde el punto de vista térmico.

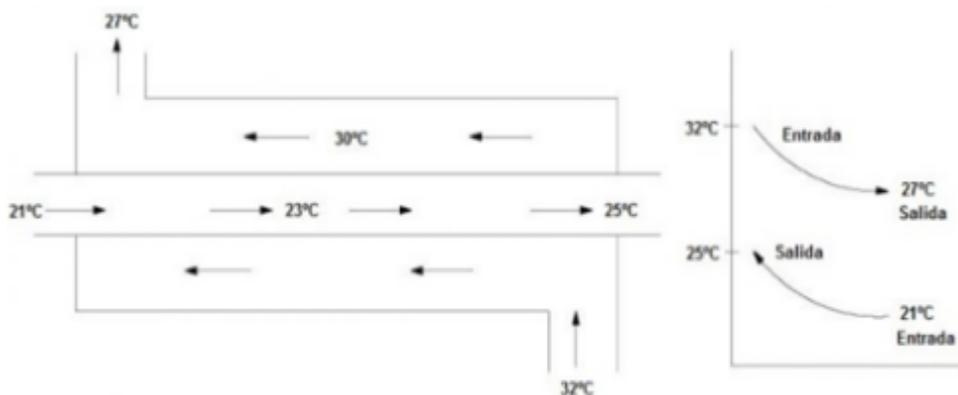


Figura 95. Esquema de flujo contracorriente

Fuente: (S&P, 2018)

Este sistema se plantea para ser usado en la chimenea de gases de combustión, ya que al ser un sistema en que los fluidos no entran en contacto, se puede aprovechar el aire ambiente que al salir del intercambiador y usando el flujo contracorriente tendría una temperatura más alta que el aire caliente de la chimenea, aprovechando así un aire limpio y a temperaturas elevadas, las cuales se podrían usar en el mismo sistema o en otros procesos de la planta que trabajan con energía térmica, lo que generaría un ahorro de combustible debido a que el calor no se generaría todo por medio del proceso de combustión.

Así mismo otra alternativa que puede ser viable para mejorar la eficiencia energética de la planta, es el precalentamiento de la barbotina por medio del intercambiador de calor antes de ingresar al proceso de atomizado, este sistema ya fue implementado en una planta, dice que tan solo aumentando la temperatura de la barbotina 25°C, se ahorraría 40 m³ /h de combustible, esto sin alterar las características técnicas del producto.



Figura 96. Intercambiadores para precalentamiento de barbotina

Fuente: (Poppi Clementino, 2021)

6.4 Análisis de ahorro energético

Teniendo los resultados de la evaluación de la eficiencia energética e implementando alguna de las alternativas, se puede calcular el porcentaje de mejora y ahorro que se puede obtener de cada una de las soluciones.

Se sabe que la combustión es un factor muy importante en el proceso de cocción de la baldosa cerámica, una de las alternativas de mejora es el precalentamiento del aire de combustión, tras una investigación en la literatura se conoce que aumentando la temperatura del aire de combustión tan solo 20°C se mejoraría la eficiencia un 1%, lo cual representaría un ahorro considerable ya que no requeriría de inversión por lo que el horno cuenta con un sistema de precalentamiento del aire de combustión mencionado anteriormente.

Para hallar el porcentaje de ahorro se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Ahorro \%} = \frac{(\Delta n) * 100}{\% \text{ real}}$$

Donde el (Δn) es (% eficiencia que se espera - % eficiencia real), se conoce que la eficiencia del horno # 5 es de 23,3 %.

$$\text{Ahorro \%} = \frac{(24,3\% - 23,3\%)}{23,3\%} * 100$$

$$\text{Ahorro \%} = 4,3 \%$$

La energía térmica al año representada en el horno es de 58641 Mwh/año por lo que:

$$\text{Ahorro} = 2521 \text{ Mwh/año}$$

Se puede demostrar que con tan solo subiendo la temperatura del aire de combustión 20°C se tendría un ahorro energético considerable.

7. Conclusiones

Se encuentra que la eficiencia energética del horno es del 23,3 %, esto resulta muy bajo debido a la gran cantidad de energía térmica que produce el horno, de esta energía el 43,2% se pierde en el ambiente por medio de las chimeneas, por lo que se hace necesario la implementación de alguna de las alternativas planteadas anteriormente, con el fin de mejorar la eficiencia energética.

La energía térmica que se pierde a través de fugas de calor en el horno, chimeneas, convección y radiación es de 44791 Mwh/año, esta misma puede ser aprovechada en el sistema u otro proceso térmico de la planta, generando un aumento en la eficiencia energética y a su vez un ahorro en el consumo de combustible.

Tras la inspección realizada en el horno, se evidencia el mal estado en que se encuentra parte de su aislamiento, esto genera fugas de calor, lo que conlleva a que la eficiencia energética de este baje. Mejorando el aislamiento que se encuentra en mal estado, aumentaría la eficiencia ya que no se perdería tanto calor por medio de estas fugas.

Se evidenció la falta de comunicación entre el personal de la planta cuando se producen largas paradas. Abordando este problema se puede generar un ahorro energético apagando algunos quemadores y ventiladores, esto traería un impacto positivo ya que se generaría un consumo de combustible eficiente.

8. Recomendaciones

Para la reducción de pérdidas de energía térmica en el horno se sugiere implementar las alternativas de mejora y aprovechamiento mencionadas anteriormente a fin de optimizar la eficiencia energética del horno.

Programar una parada para realizar un mantenimiento preventivo en el horno, a fin de corregir las grietas que este presenta en la zona de cocción y reparar el techo deteriorado en la zona de enfriamiento final para así evitar paradas imprevistas.

Generar una mejor comunicación entre los operarios en la planta de tal manera que cuando ocurran paradas largas, todos tengan el conocimiento a la hora de actuar y generar las acciones pertinentes para producir ahorros de energía durante estas.

Realizar la revisión de fugas de gas de manera frecuente, ya que esta se efectúa una vez al mes, esto con el fin de evitar pérdidas de gas en las tuberías del horno y prevenir posibles accidentes.

9. Referencias bibliográficas

- Carrera Espinoza, V. E. R. O. N. I. C. A. M. A. R. I. A. N. A. (2020, Enero). Optimización de la matriz energética del horno continuo de cocción b&t 3200 en la empresa c.a. ecuatoriana de cerámica. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13595/1/20T01299.pdf>
- Coluccio Leskow PH. D, E. (2021). Principio de Conservación de la Energía - Concepto y ejemplos. Concepto. Recuperado de: <https://concepto.de/principio-de-conservacion-de-la-energia/>
- Corona. (2020). Informe de sostenibilidad. Recuperado de: https://empresa.corona.co/storage/app/media/Informes_Sostenibilidad/Informe_de_Sostenibilidad_2020.pdf
- Hornos de Rodillos para Cerámica | Nutec Bickley. (s. f.). Nutec Bickley. Recuperado de: <https://www.nutecbickley.com/es/que-hacemos/hornos-industriales-para-ceramica/hornos-de-rodillos-para-ceramica>
- H.Y.K.K.X. (2020, julio). ajustes Acceso abierto Artículo Estudio de Rendimiento Térmico Combinado con Parámetros del Sistema de Enfriamiento para un Horno de Rodillos Basado en Análisis de Energía-Exergía. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/15/3922/htm>
- Martin Y Serrano, Universidad Politécnica De Madrid, T. A. (s. f.). Universidad Politécnica de Madrid. UPM. Recuperado de: <https://www.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/termo2p/maquinas.html%22>

- N. (2021, 17 junio). Proceso de Fabricación de Baldosas Cerámicas. Blog Construmatica. Recuperado de: <https://www.construmatica.com/blog/proceso-de-fabricacion-de-baldosas-ceramicas/>
- S.F.A.M.V.M.A.E.M. (2019, enero). Más allá del balance energético: Análisis exergético de un horno industrial de rodillos que coce gres porcelánico. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431118354371>
- Sacmi.com. (s. f.). Hornos industriales para cerámica y accesorios. Recuperado de: <https://www.sacmi.com/es-es/ceramics/Azulejos/Hornos-industriales-para-ceramica-y-accesorios>
- Uche Marín, Dto Ing. Mecánica Universidad De Zaragoza, J. (2011). Please Wait. . . | Cloudflare. ResearchGate. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/45236268_Simulacion_y_optimizacion_de_un_horno_ceramico_monocapa
- UPM. Universidad politécnica de Madrid (s. f.-b). Radiación térmica. Recuperado de: <http://www.aq.upm.es/Departamentos/Fisica/UD-fisica/RADIACION.htm>

Anexos

Anexo 1.Estructura organizacional

Estructura Organizacional Cerámica Italia S.A - Oct2021 (1).pdf

Anexo 2. Tabla A-15 propiedades del aire a 1 atm de presión del libro de YUNUS A.

CENGEL – AFSHIN J. GHAJAR 4ta edición

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

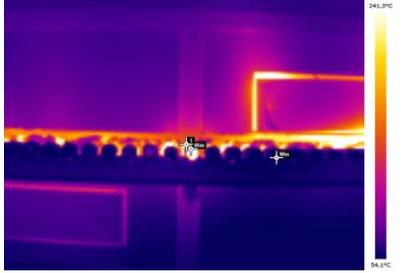
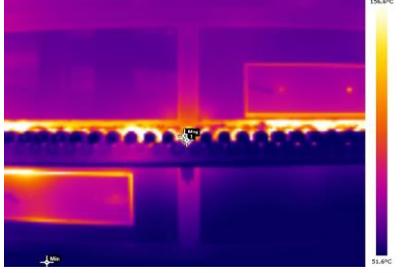
Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Anexo 3. Matriz Termográfica

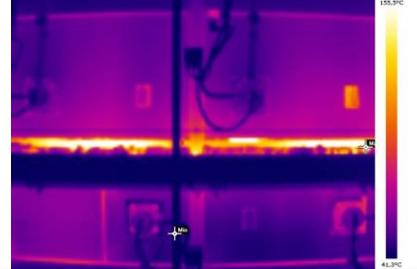
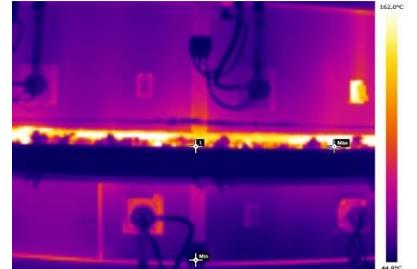
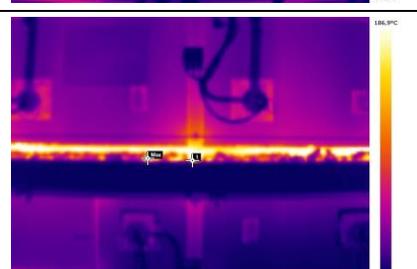
Lado libre

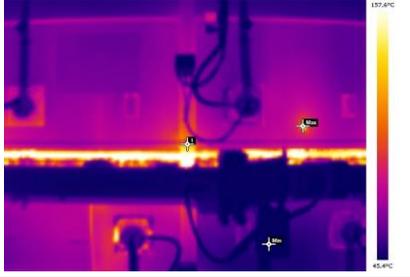
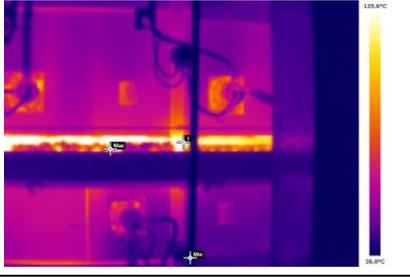
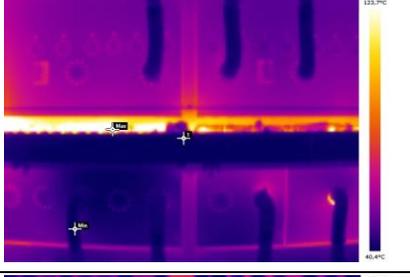
MATRIZ TERMOGRAFICA LADO LIBRE HORNO # 5				
Fotografía	Modulo	Temperatura Máxima	Temperatura ambiente	Emisividad global
	20	190 °C	31 °C	0,95
	21	290 °C	31 °C	0,95
	22	312 °C	31 °C	0,95
	23	248 °C	31 °C	0,95
	24	244 °C	31 °C	0,95

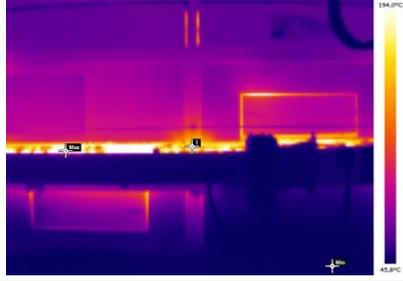
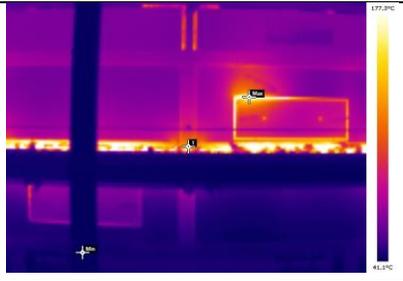
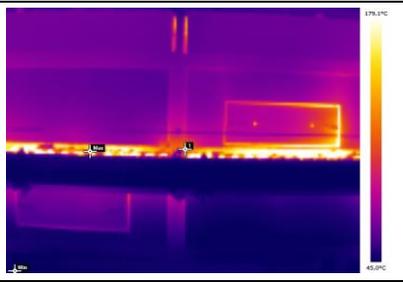
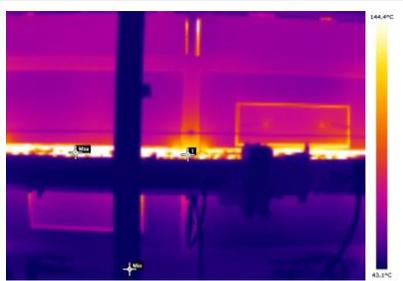
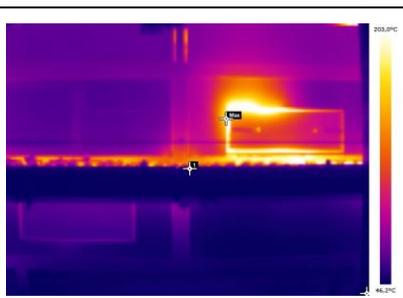
	25	219 °C	31 °C	0,95
	26	181 °C	31 °C	0,95
	27	446 °C	31 °C	0,95
	28	444 °C	31 °C	0,95
	29	444 °C	31 °C	0,95
	30	441 °C	31 °C	0,95

	31	443 °C	31 °C	0,95
	32	441 °C	31 °C	0,95
	33	443 °C	31 °C	0,95
	34	441 °C	31 °C	0,95
	35	443 °C	31 °C	0,95

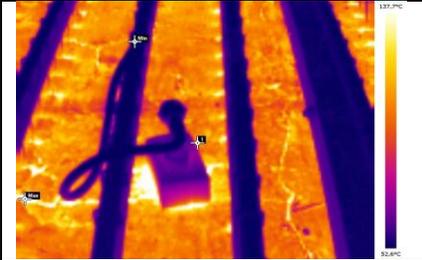
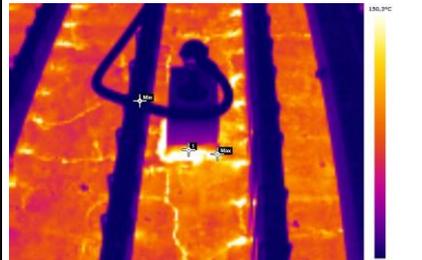
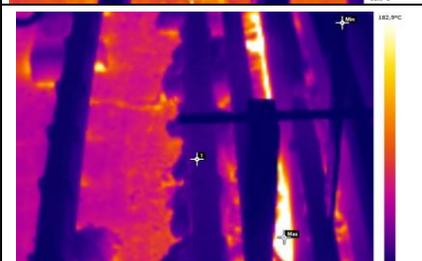
Lado motorizado

MATRIZ TERMOGRAFICA LADO MOTORIZADO HORNO # 5				
Fotografía	Modulo	Temperatura Máxima	Temperatura ambiente	Emisividad global
	20	187 °C	31 °C	0,95
	21	285 °C	31 °C	0,95
	22	242 °C	31 °C	0,95
	23	235 °C	31 °C	0,95
	24	296 °C	31 °C	0,95

	25	318 °C	31 °C	0,95
	26	184 °C	31 °C	0,95
	27	242 °C	31 °C	0,95
	28	322 °C	31 °C	0,95
	29	350 °C	31 °C	0,95
	30	413 °C	31 °C	0,95

	31	360 °C	31 °C	0,95
	32	277 °C	31 °C	0,95
	33	286 °C	31 °C	0,95
	34	278 °C	31 °C	0,95
	35	280 °C	31 °C	0,95

Techo

MATRIZ TERMOGRAFICA TECHO HORNO # 5				
Fotografía	Modulo	Temperatura Máxima	Temperatura ambiente	Emisividad global
	22	230 °C	31 °C	0,95
	24	254 °C	31 °C	0,95
	26	445 °C	31 °C	0,95