

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL
MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DE LOS GASES DE
COMBUSTIÓN DE LOS HORNOS COLMENA EN LA EMPRESA LADRILLOS Y
ACABADOS S.A.S.**

CRISTHIAN CAMILO BUENO RUEDA

WILMAN ORTIZ BAUTISTA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2014

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL
MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DE LOS GASES DE
COMBUSTIÓN DE LOS HORNOS COLMENA EN LA EMPRESA LADRILLOS Y
ACABADOS S.A.S.**

CRISTHIAN CAMILO BUENO RUEDA

WILMAN ORTIZ BAUTISTA

Trabajo de grado para optar el título de

Ingeniero Mecánico

Director

OMAR A. GÉLVEZ AROCHA

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2014

A Dios, por permitirme llegar donde estoy.

A mis padres, Jairo y Carolina, por su amor, esfuerzo y dedicación hicieron todo posible.

A Sebastián y Mónica por su amor y apoyo incondicional durante toda mi formación profesional, son mi mayor inspiración para seguir adelante.

A mis amigos que conocí en esta etapa de formación son la fuerza que necesitaba para cumplir mis metas. (SC, DM, MR, SO, CS, WO, ID, YM, PS, TM, BP, SA)

Cristhian Camilo Bueno Rueda

A Dios le debo todo, mi fortaleza en todo momento.

*A mi padre, Libardo Ortiz que a pesar de las dificultades siempre estuvo presente en todo momento
apoyándome y dándome lo mejor posible.*

*A mi madre, Arcelia Bautista, una mujer de admirar y que con su amor siempre me da fuerzas para
sacar todos mis propósitos adelante.*

*A mi hermano, Darwing Ortiz quien ha sido mi inspiración para salir adelante en la vida y a quien
debo la persona que soy.*

A aquellos amigos de años que en todo momento me acompañan (JSVR).

*A aquellos grandes amigos que conocí en esta etapa de formación para mi vida profesional, en especial
a aquel grupo de excelentes personas que me acogieron en los últimos años y con quienes compartí
grandes momentos y de quienes me llevo buenas enseñanzas (SC, DM, CB, SO, LR, MR, JM, BP, SA).*

WILMAN ORTIZ BAUTISTA

AGRADECIMIENTOS

A los profesores de la escuela de Ingeniería Mecánica por su dedicación y aporte a nuestra formación profesional y personal, en especial al profesor Omar Armando Gévez Arocha por su apoyo y aporte intelectual en el desarrollo de este proyecto.

Al profesor Julián Ernesto Jaramillo Ibarra por su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	21
OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	23
Objetivos Generales	23
Objetivos específicos	23
1. MARCO DE REFERENCIA DE LA EMPRESA LADRILLO Y ACABADOS S.A.S Y SUS PROCESOS.....	26
1.1 DATOS DE LA EMPRESA.....	26
1.2 ANTECEDENTES.....	26
1.3 PRODUCTOS.....	28
1.4 PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LA EMPRESA.....	29
1.4.1 Procesos de preparación de la materia prima.....	30
1.4.2 Moldeo y corte.....	32
1.4.3 Secado.....	33
1.4.4 Cocción del material.....	34
1.4.5 Revisión y empaque.....	34
2. DIAGNÓSTICO DE LA PARTE OPERATIVA DEL PROCESO DE COCCION Y SECADO Y PROCESO DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL PROVENIENTE DE LOS HORNOS COLMENA.....	35
2.1 FLUJOGRAMA PROCESO DE COMBUSTIÓN DE LOS HORNOS COLMENA.....	35
2.1.1 Carga del horno.....	36
2.1.2 Etapa de quema.....	37
2.1.3 Etapa de enfriamiento y descarga.....	37
2.1.4 Flujo de material en hornos.....	38
2.2 ESTUDIOS EXPERIMENTALES DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN EN LOS HORNOS COLMENA.....	40
2.2.1 Descripción del programa de medición.....	41

2.2.2	Montaje experimento.....	45
2.2.3	Resultados del experimento.....	47
2.3	FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE SECADO.....	53
2.3.1	Secaderos.....	53
2.3.2	Carga, operación y descarga de los secaderos.....	56
2.3.3	Estudio experimental en el proceso de secado.....	58
2.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	59
3.	ESTADO DEL ARTE: REGENERADORES.....	61
3.1	REGENERADOR DE MATRIZ ROTATIVA.....	63
3.2	REGENERADOR DE MATRIZ FIJA.....	68
3.3	SELECCIÓN DE SISTEMA A UTILIZAR.....	71
4.	DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA.....	81
4.1	ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN.....	84
4.1.1	Justificación de la solución del problema.....	85
4.1.2	Descripción de solución.....	86
4.2	SOLUCION PROPUESTA.....	89
5.	DISEÑO DE INGENIERIA.....	91
5.1	DISEÑO TERMICO DEL REGENERADOR.....	92
5.1.1	Metodología del diseño térmico para la selección del área efectiva de transferencia de calor y calor almacenado.....	93
5.2	DISEÑO MECANICO DEL REGENERADOR.....	108
5.2.1	Determinación del lecho de la matriz.....	110
5.2.2	Generalidades del tanque almacenador.....	115
5.2.3	Diseño del sistema de impulsión.....	118
6.	DISEÑO DEFINITIVO.....	130
6.1	ANALISIS DE RESULTADOS.....	130
6.1.1	Cálculo del área de transferencia de calor.....	130
6.1.2	Cálculo de la altura de la matriz.....	132
6.1.3	Sistema de regeneración de calor en función del tiempo.....	134
6.1.4	Cálculo del calor recuperado.....	139

6.1.5	Determinación del sistema de impulsión.....	140
6.1.6	Dimensionamiento del tanque almacenador	144
7.	REDISEÑO DEL SISTEMA DE SECADO.....	153
7.1	SISTEMA DE SECADO Y NUEVO FLUJO DE MATERIAL.....	153
7.1.1	Propuesta de rediseño del proceso de secado.....	154
7.1.2	Propuesta para el flujo de material.....	157
7.2	ANÁLISIS DE TIEMPO.....	161
7.2.1	Tiempo disponible de flujo energético.....	161
7.2.2	Tiempo requerido por un periodo de secado.....	164
7.3	ANÁLISIS ENERGETICO DEL PROCESO DE SECADO.....	167
7.3.1	Energía disponible para el proceso de secado.....	168
7.3.2	Energía requerida para el proceso de secado.....	169
7.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	173
8.	ANÁLISIS ECONOMICO.....	174
8.1	INVERSION INICIAL.....	174
8.1.1	Costo de construcción de los tanques almacenadores.....	174
8.1.2	Costo sistema de transporte de fluidos.....	177
8.1.3	Sistemas auxiliares.....	179
8.2	ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA ENERGÍA RECUPERADA.....	180
	CONCLUSIONES	183
	RECOMENDACIONES.....	186
	BIBLIOGRAFÍA.....	187
	ANEXOS.....	189

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema preliminar del sistema.....	25
Figura 2. Productos fabricados LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.	29
Figura 3. Proceso de fabricación de elementos cerámicos.....	30
Figura 4. Laminador y extrusora de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.	31
Figura 5. Moldeo y corte en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.....	33
Figura 6. Etapa de carga en los hornos colmena.....	36
Figura 7. Diagrama de flujo de material en los hornos colmena.	39
Figura 8. Unidad Adquisidora FP-1601.....	42
Figura 9. Unidad Adquisidora FP-TC-120.....	43
Figura 10. Termocupla tipo K.....	43
Figura 11. Termocupla tipo K revestida.	44
Figura 12. Interfaz gráfica LabVIEW.....	45
Figura 13. Montaje del experimento.....	46
Figura 14. Ubicación termocuplas en la planta.	47
Figura 15. Resultado toma de datos de temperatura.....	48
Figura 16. Secaderos Artificiales de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.....	55
Figura 17. Secado natural en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.	56
Figura 18. Flujo de material en proceso de secado.	58
Figura 19. Temperaturas necesarias en el proceso de secado.	59
Figura 20. Hornillas del horno colmena.	60
Figura 21. Regenerador rotatorio.....	62
Figura 22. Regeneradores fijos.....	63
Figura 23. Regenerador tipo Ljungstrom.	64
Figura 24. Matriz de generador rotativo.	65
Figura 25. Arreglos para matriz rotativa.....	66
Figura 26. Regeneradores de matriz fija.....	69
Figura 27. Arreglos para regeneradores de matriz fija.....	70

Figura 28. Flujo elemental en el regenerador y matriz asociada durante el flujo de gas caliente.....	72
Figura 29. Flujo elemental en el regenerador y matriz asociada durante el flujo de gas frio.	72
Figura 30. Análisis diferencial del flujo en la matriz.	73
Figura 31. Análisis diferencial de la matriz en periodo caliente.	73
Figura 32. Diagrama de flujo del diseño del sistema.	78
Figura 33. Esquema de parámetros de diseño.	80
Figura 34. Horno colmena de la empresa Ladrillos y Acabados.	81
Figura 35. Temperatura a la salida de la chimenea.	82
Figura 36. Solución propuesta.	88
Figura 37. Diseño conceptual.	89
Figura 38. Ubicación en la planta.....	90
Figura 39. Variables de entrada del regenerador.....	94
Figura 40. Dimensiones chimenea.....	96
Figura 41. Tiro de la chimenea	97
Figura 42. ε en función de NTU_o y $C_m *$ para un regenerador en contraflujo.	105
Figura 43. Comportamiento del área de transferencia de calor para diferentes periodos de tiempo.	107
Figura 44. Área de transferencia de calor en función de la temperatura y el tiempo de ciclo obtenidas.	108
Figura 45. Regenerador de calor.	110
Figura 46. Tanque almacenador del regenerador.....	116
Figura 47. Tanque almacenador	117
Figura 48. Válvula mariposa.	121
Figura 49. Esquema del circuito de pérdidas del sistema.....	123
Figura 50. Calculo del factor K con secciones de paso reducido.....	128
Figura 51. Calculo del factor K para válvulas y accesorios.	128
Figura 52. Calculo del coeficiente K para algunas válvulas.	129
Figura 53. Calculo de coeficiente K para accesorios.	129

Figura 54. Área de transferencia de calor óptima para cada valor de Temperatura de entrada de los gases para un tiempo de operación del sistema de 2 horas. ...	131
Figura 55. Altura del lecho del regenerador para cada valor de temperatura.	133
Figura 56. Variación de la temperatura de los gases en la chimenea en el tiempo.	135
Figura 57. Temperatura de los gases a la salida del regenerador en función del tiempo.	136
Figura 58. Temperatura del aire a la salida del regenerador en función del tiempo.	137
Figura 59. Flujo másico en función del tiempo.	138
Figura 60. Calor almacenado en función del tiempo.	139
Figura 61. Caudal de gases en función del tiempo.	140
Figura 62. Perdida de presión en el sistema.	142
Figura 63. Características ventilador GREENHECK modelo 21-IPA.	143
Figura 64. Características geométricas ventilador GREENHECK modelo 21-IPA.	144
Figura 65. Propuesta final sistema de regeneración de calor para la empresa LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.	145
Figura 66. Dimensionamiento definitivo del tanque almacenador.	146
Figura 67. Base de concreto reforzado del regenerador.	147
Figura 68. Base de soporte de la matriz del regenerador.	148
Figura 69. Ductos superiores de transporte de fluidos.	149
Figura 70. Ductos provenientes del horno al sistema de regeneración.	149
Figura 71. Ubicación del sistema de regeneración en la planta de LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.	150
Figura 72. Vista superior de la ubicación del sistema de regeneración.	151
Figura 73. Secaderos de la empresa ladrillos y acabados S.A.S.	153
Figura 74. Propuesta sistema de secado.	155
Figura 75. Propuesta de sistema de secado (vista superior).	156
Figura 76. Secadero intermitente.	158

Figura 77. Propuesta flujo de material en secaderos.....	160
Figura 78. Etapas de funcionamiento del horno colmena de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.....	163
Figura 79. Diagrama de flujo del material en los secaderos.	166
Figura 80. Calor recuperado por el aire.	169

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de la fuente monitoreada.....	40
Tabla 2. Caracterización de los gases de la chimenea por análisis de combustión.	50
Tabla 3. Condiciones de operación de la fuente.	50
Tabla 4. Resultados de flujo másico y concentración para MP, SO ₂ y NO _x	51
Tabla 5. Resultados de concentración de MP, SO ₂ y NO _x con corrección de oxígeno.	52
Tabla 6. Comparación con la normativa y Unidades de Contaminación Atmosférica.	53
Tabla 7. Evaluación de los sistemas recuperadores.	83
Tabla 8. Cifras de secado.	84
Tabla 9. Selección de material de la matriz.	87
Tabla 10. Comparación del tiempo de ciclo con el área de transferencia de calor.	107
Tabla 11. Calor específico de materiales cerámicos.....	111
Tabla 12. Propiedades geométricas de la matriz.	114
Tabla 13. Dimensiones de Tuberías comerciales.	119
Tabla 14. Resultados de áreas de transferencia de calor para algunos valores de temperatura.....	132
Tabla 15. Resultados de la longitud de la matriz para algunos valores de temperatura.....	133
Tabla 16. Relación de potencia consumida y requerida para el secado.	173

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. COTIZACIONES	190
Anexo B. PLANOS.....	199

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE LOS HORNOS COLMENA EN LA EMPRESA LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.*

AUTORES:

Cristhian Camilo Bueno Rueda
Wilman Ortiz Bautista**

PALABRAS CLAVE: Ambiente, recuperación, regenerador, secado, transferencia de calor.

DESCRIPCIÓN:

Actualmente existen empresas en el sector productor de piezas cerámicas que cuentan con procesos de producción tradicionales sin ninguna implementación de nuevas tecnologías, estas empresas aportan agentes contaminantes al ambiente que contribuyen al deterioro del planeta, por esta razón el gobierno de Colombia mediante el ministerio de medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial en la resolución 909 está aplicando fuertes normativas ambientales para aquellas empresas que no cumplen los requerimientos mínimos ambientales.

El siguiente trabajo de investigación busca determinar la viabilidad de implementar un sistema de regeneración de energía térmica para la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S que reduzca la temperatura de los gases de combustión producidos por los hornos colmena, los niveles de material particulado producidos en la combustión del carbón para la operación de los hornos, y aprovechar el calor recuperado en un posterior proceso de secado.

Para esto de desarrollo un sistema de recuperación de del calor residual mediante el almacenamiento de los gases de combustión producidos por los hornos colmena de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S durante la etapa de quema plena y enfriamiento, para ello se diseña un sistema de regeneración de energía térmica de matriz fija, el cual cuenta con un sistema de tanques almacenadores gemelos en paralelo que establezca un flujo energético constante de energía y pueda ser aprovechado en un posterior proceso de secado reduciendo tanto los niveles de contaminación producidos por la planta de producción como el tiempo de secado disminuyendo así los tiempos de producción de la planta.

Con base en los resultados obtenidos se concluye que es viable la implementación de un sistema de regeneración de energía que reduciría las pérdidas energéticas de la planta de producción, cumpliría con las normas ambientales vigentes y disminuiría el tiempo de producción.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Omar A. Gélvez

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A WASTE HEAT RECOVERY SYSTEM FROM EXHAUST GASES IN THE OVENS HIVE BY HEAT STORAGE AT LADRILLOS Y ACABADOS COMPANY.*

AUTHORS:

Cristhian Camilo Bueno Rueda
Wilman Ortiz Bautista**

KEY WORDS: Enviroment, recovery, regenerator, dry process, heat transfer.

DESCRIPTION:

Colombia's government, through the minister of environment, housing and land development in the 909 resolution is implementing strong environmental regulations against those who are not following the rules.

This investigation hopes to determine the viability of implementing a regeneration system of thermal energy for the company "Ladrillos y Acabados S.A.S" that reduces the temperature of the combustion gasses produced by the beehive ovens, the levels of particulate material produced in the combustion of coal for the operation of the ovens, and make the most of the recovered heat in a posterior drying process.

By these means, a system of recuperation of residual heat through the storage of combustion gasses produced by the beehive ovens of the company "Ladrillos y Acabados S.A.S" during the stage of burning and cooling, was developed. A system of thermal matrix energy regenerator was designed, it has a parallel system of storage tanks that establishes an energetic flux with constant energy that can be used later on in the process of drying, lowering the contamination levels produced by the production and the time of the drying process.

Based on the obtained results, it is deducted that the implementation of an energy regeneration system is a viable solution to reduce the energetic losses of the production plant, and it would meet the currents environmental laws as well as would reduce the time of production.

* Thesis

**Physical-Mechanical Engineer Faculty, Mechanical Engineer School, Eng. Omar A. Gévez.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existen empresas del sector productor de piezas cerámicas que cuentan con procesos de producción tradicionales sin ninguna implementación de nuevas tecnologías, y que por consiguiente incumplen normas ambientales que buscan regular la contaminación producto de la quema de combustibles fósiles como el carbón. La necesidad de éstas empresas de seguir operando las obliga a encontrar las mejores alternativas para cumplir con las regulaciones existentes, debido a esto se ve necesaria la inversión en implementación de equipos y sistemas que controlen tanto la emisión de gases contaminantes a la atmosfera como la temperatura de los mismos.

El siguiente trabajo busca presentar la posibilidad de una alternativa de un sistema de recuperación de energía térmica producida por los gases de exosto de los hornos colmena durante su etapa de quema plena y enfriamiento de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S. con el cual también se pretende lograr una mejora en el proceso de secado de la materia prima basados en el conocimiento de la temperatura de los gases exosto del horno realizado mediante mediciones previas, las cuales sobrepasan por mucho las especificadas por las autoridades ambientales (más de 250°C) de la cual se dispone una cantidad sustancial de energía que puede ser recuperada para calentar el aire que va hacia los secaderos.

El desarrollo del trabajo comprende desde el cálculo de las propiedades de los gases y aire a las temperaturas necesarias para la realización del análisis de transferencia de calor utilizando métodos ya desarrollados que en la literatura consultada muestran las correlaciones pertinentes tanto generales como particulares de cada una de las posibilidades de regenerador, pasando por un

análisis de resultados obtenidos con los cuales se toma la decisión de dimensiones y detalles para un óptimo funcionamiento y obtención de los objetivos propuestos. Finalmente se desarrolla el proceso de diseño mecánico en el cual se selecciona tanto materiales como configuración de todo el sistema regenerador incluyendo el sistema de impulsión y la distribución dentro de la planta de producción.

Al final se da una propuesta de implementación de un sistema de intercambiadores de calor de tipo indirecto o almacenamiento (regeneradores) para ser instalado en la empresa y que cumple con los requisitos de disminuir la temperatura de los gases expulsados al medio ambiente y que permite la recuperación de energía para su posterior uso en el proceso de secado.

OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

Objetivos Generales

1. Contribuir con la Universidad Industrial de Santander en el cumplimiento de su misión en función de la formación de personas de alta calidad ética y profesional en la generación y adecuación de conocimientos aplicándolos al mejoramiento de procesos industriales mediante el desarrollo de un sistema de almacenamiento de energía producida por los gases de combustión de los hornos colmena de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.
2. Aportar al desarrollo regional con el diseño de un sistema de almacenamiento de energía que cumpla con todas las exigencias técnicas, medioambientales, operacionales y funcionales con el fin de mejorar la competitividad de la empresa.

Objetivos específicos

1. Diseñar un sistema de recuperación continua que aproveche la energía residual contenido en los gases exosto de los hornos colmena de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S durante las etapas de quema plena y enfriamiento como alternativa y/o complemento para el proceso de secado del material a hornear, con las siguientes características:
 - 1.1 Contacto indirecto (tipo almacenamiento) entre los gases exosto y el aire de secado en un intercambiador constituido por un conjunto de recipientes en paralelo rellenos de una matriz de ladrillo/piedras.

1.2 La capacidad de secado del material para el proceso de cocción en los hornos colmena se incremente en un 200%.

1.3 La temperatura del aire en el secadero este entre 40 ° C y 110 ° C durante el proceso de secado.

2. Rediseñar el sistema de transporte de fluidos para que se adapte a las nuevas condiciones requeridas para el funcionamiento del sistema de recuperación de energía.

3. Cumplir con la Resolución número 909 del 5 de junio del 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en su capítulo X que especifica los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, para que no sobrepase el valor de 250 mg/m³ para el material particulado y un límite admisible de temperatura de los gases a la salida de la chimenea establecido en los 250°C durante la etapa de máximo consumo de combustible además de cumplir con las normas de salud ocupacional del material particulado en ambiente de trabajo estipulado en 0.025 [mg/m³].

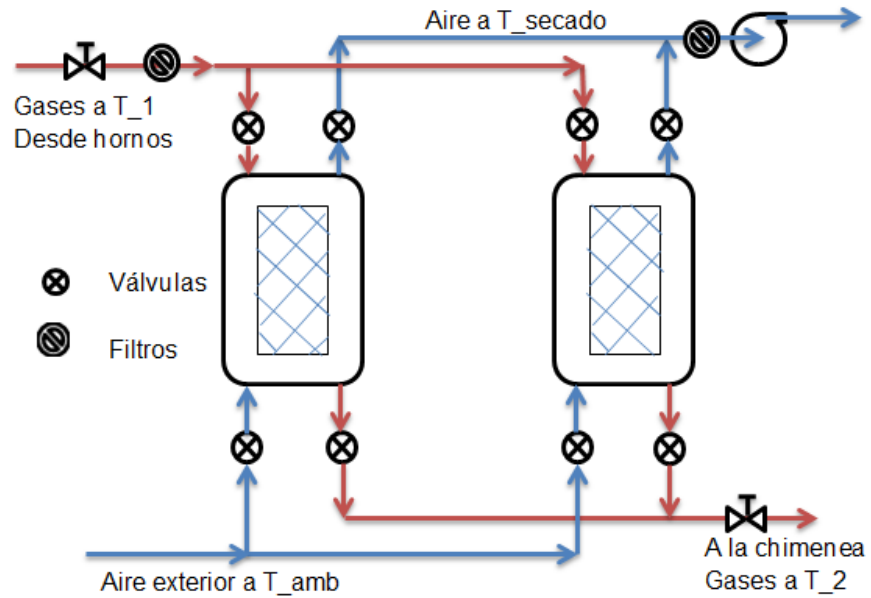
4. Realizar los planos resultado del diseño básico de los diferentes subsistemas tales como:

4.1 Subsistema de impulsión y transporte de los gases de exosto y aire para los secaderos.

4.2 Subsistema de recipientes y material de almacenamiento.

4.3 Subsistema de filtrado de aire y gases de exosto.

Figura 1. Esquema preliminar del sistema.



Fuente: Autores.

5. Hacer un estudio económico para determinar la viabilidad de la implementación de un sistema de secado por medio de un sistema de almacenamiento de energía para la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.

1. MARCO DE REFERENCIA DE LA EMPRESA LADRILLO Y ACABADOS S.A.S Y SUS PROCESOS.

1.1 DATOS DE LA EMPRESA.

Nombre: LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S San Gil

NIT: 804015143-7

Planta: Vereda Campohermoso. San Gil

Oficina: Calle 6 No. 9-70 San Gil. Tel. 7-242990 Fax 7-242942

Gerente: Mauricio Berardinelli González; Email. mauberar@gmail.com

Subgerente: Juan Francisco González; Email. gonzalez.juanf@gmail.com

Clasificación de la empresa: PEQUEÑA EMPRESA (PYME). 11-50 empleados, ACTIVOS TOTALES: Entre 501 y 5001 SMMLV.

1.2 ANTECEDENTES.

Por escritura pública No. 687 de 2003/04/07 de la notaría 02 del círculo de San Gil, inscrita en la Cámara de Comercio de Bucaramanga el 2003/04/25 bajo el No. 54075 del libro 9, se constituyó la sociedad denominada **LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S. MATRICULA MERCANTIL: 05-102885-03 DEL 2003/04/25.**

Ladrillos y acabados S.A.S fue comprada a LADRILLERA SAN GIL, chircal que fabricaba ladrillos de arcilla en condiciones precarias de infraestructura tanto de equipos como locativas. A partir del año 2003 los nuevos dueños proyectaron una

reconversión de la infraestructura y fue así que se programan y se ejecutan las siguientes obras:

- Durante los años 2004 y 2005 se construyen 2.500 m² de cubiertas y se construyen dos hornos colmena sustituyendo el horno tipo pampa y se construyen tres secaderos artificiales con un área de 16x5 m cada uno (240 m² en total). También se adquiere en leasing una retroexcavadora Caterpillar modelo 426 D para la explotación de la mina.
- En el año 2007 se negocia la compra de todos los equipos de la línea de producción que incluye desterronador, cajón mezclador, laminador, extrusora, cortadora y las bandas transportadores que interconectan estos equipos. Todos estos equipos fueron adquiridos a Souza- Brasil. La nueva línea de producción entró en funcionamiento en enero del 2008.

El volumen de Producción antes del montaje de los nuevos equipos es decir desde el 2003 hasta el 2007 fue en promedio de 80.000 piezas mensuales. A partir de febrero del 2008 la producción aumenta a un promedio de 100.000 unidades/mes y se mejora sustancialmente la calidad de los productos fabricados. Sin embargo a pesar del incremento de la producción, los costos de producción se han incrementado, los precios se han contraído por la oferta de los Competidores en la Región Guanentina.

- A mediados del año 2008, la Empresa realiza un análisis DOFA y se define implementar como estrategia para ejecución a corto y mediano plazo el desarrollo de productos de valor agregado, igualmente se define implementar un programa de mejoramiento continuo que permita mejorar procesos, reducir costos y mejorar la calidad de los productos. Para dar inicio a éste nuevo plan entre octubre y noviembre del 2008 se pone en funcionamiento un molino de martillos, se realizan visitas a diferentes fábricas en el país y se conocen las alternativas que ofrece Colciencias para la investigación e innovación

comenzando de esta forma un vínculo con la vicerrectoría de investigación y extensión de la Universidad Industrial de Santander.

1.3 PRODUCTOS.

Los Productos de arcilla que se han fabricado tradicionalmente son:

- Ladrillos Huecos H10
- Ladrillos Huecos H12
- Ladrillos Huecos H15
- Medios de ladrillos Huecos H10,H12 y H15
- Bovedilla
- T1 Rústico
- Ladrillos macizos
- Tejas Coloniales

En el 2010 se comienzan a fabricar nuevos productos:

- Pisos tipo fato
- Pisos tipo tableta colonial
- Fachaletas
- Espacatos
- Adoquines

En la figura 2 se puede observar algunos de los productos fabricados por la empresa LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.

Figura 2. Productos fabricados LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.



Fuente: Autores.

1.4 PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LA EMPRESA.

El proceso de fabricación de un producto cerámico está conformado por tres grupos de operaciones. Primero, la preparación de materias primas y productos intermedios (donde se preparan las arcillas con esmaltes y colorantes, y se moldea la pieza). Segundo, la obtención del producto acabado (donde se encuentran el secado y la cocción), el producto queda listo para ser utilizado en el sector de la construcción. Y, en tercer lugar, la distribución, es decir, la colocación del producto acabado en manos del consumidor final.

Figura 3. Proceso de fabricación de elementos cerámicos.



Fuente: Diseño de un sistema para la recuperación de calor residual en los gases de combustión de los hornos colmena en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.

1.4.1 Procesos de preparación de la materia prima.

- **Molienda:**

En este proceso se realiza la trituración de la arcilla sin tratar, que proviene directamente de la cantera, y se obtiene la materia prima con la granulometría y textura necesarias para su posterior conformado. Se lleva a cabo utilizando el desterronador, este tipo de sistema asegura la obtención de un porcentaje importante de partículas finas que se humectan con más facilidad y rapidez, obteniéndose una masa muy homogénea y de mayor plasticidad. Como consecuencia se obtiene un mejor acabado y una mayor resistencia mecánica, tanto del material seco como del producto cocido.

- **Dosificación:**

Con la dosificación se persigue establecer una alimentación constante y regulada en el cajón mezclador para así realizar cualquier tipo de mezcla en cualquier proporción para diferentes arcillas y agregados, según la necesidad de la pieza a fabricar.

- **Molturación:**

Para la molturación se puede optar por una de las siguientes soluciones: vía seca y vía húmeda o mejor vía semi-húmeda. La molturación por vía semi-húmeda, en la que se emplean molinos de rulos o desintegradores para la molturación primaria y laminadores (Figura 4, Laminador y extrusora empresa LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.), para la secundaria, es la más extensamente utilizada.

Figura 4. Laminador y extrusora de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.



Fuente: Diseño de un sistema para la recuperación de calor residual en los gases de combustión de los hornos colmena en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.

- **Amasado y homogeneización:**

Para el amasado de la arcilla, en las fábricas de baldosas, tejas y ladrillos, se suelen utilizar amasadoras en continuo, en este caso se utiliza una extrusora. La calidad de los barro obtenidos con las amasadoras extrusoras es muy superior a la conseguida con las amasadoras tradicionales. Del efecto del prensado y extrusionado resulta una mayor absorción del agua por la arcilla, obteniéndose una pasta muy homogénea. El barro es menos pegajoso y se ensila con menores problemas.

1.4.2 Moldeo y corte.

La primera condición para lograr unos buenos resultados en la extrusión es que el material a extruir presente las mínimas variaciones posibles, tanto en lo que respecta a su composición (plasticidad) como a su grado de preparación (granulometría más o menos fina) y a su contenido de humedad. En los moldes o boquillas se debe lograr que:

1. La velocidad del flujo arcilloso sea la misma en toda la sección transversal de la barra.
2. La resistencia que encuentre al barro al salir a través de la boquilla sea suficiente para lograr una buena compactación. Es decir, que la arcilla quede bien compactada ya que de ello va a depender la resistencia y calidad final del producto acabado.

En Ladrillos y acabados S.A.S. los productos son moldeados, ver Figura 5, y cortados con una humedad aproximada de 16 %.

Figura 5. Moldeo y corte en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.



Fuente: Diseño de un sistema para la recuperación de calor residual en los gases de combustión de los hornos colmena en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.

1.4.3 Secado.

El proceso de secado se hace de 2 formas: Secado artificial y secado natural, estos procesos serán explicados a mayor profundidad en el capítulo 2.

El proceso de secado busca reducir del 16 % al 6 – 7% la humedad de los ladrillos producidos en la planta, las temperaturas de secado rondan entre los 80 a 110°C, Si el secado se hace a menos de 80°C el proceso tarda mucho tiempo y no se vería la utilidad de extraer el calor de los hornos, y si el secado se lleva a cabo a más de 110°C se pueden presentar fisuras y agrietamiento en los productos. El tiempo estimado de funcionamiento para una nave de secado con 6000 unidades de bloque H10 (40 Ton de arcilla aproximadamente) es de 28 horas.

1.4.4 Cocción del material.

En el proceso de cocción de sus productos LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S utiliza carbón térmico tipo B y consumen 176.32 Kg carbón/ Kg arcilla cocida. Se fabrican 24 mil piezas por horno aproximadamente. Este proceso tiene dos etapas:

Caldeo: donde se retira la humedad de los productos y se eleva la temperatura del horno hasta 300°C. En el horno pequeño este proceso toma 21 horas y en el horno grande 26 horas.

Quema Plena: donde empieza la cocción de los productos y se desarrollan las propiedades físicas de cada pieza, elevándose la temperatura dentro del horno hasta 1000°C aproximadamente. En el horno pequeño este proceso toma 50 horas y en el horno grande 72 horas.

Este proceso busca dar las propiedades cerámicas a los ladrillos.

1.4.5 Revisión y empaque.

Las piezas ya terminadas, se revisan para que todas cumplan con las normas de calidad, y se depositan apiladas encima de pellets de madera o de las propias piezas y pueden envolverse con plástico retráctil y fleje para facilitar su posterior distribución.

2. DIAGNÓSTICO DE LA PARTE OPERATIVA DEL PROCESO DE COCCIÓN Y SECADO Y PROCESO DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL PROVENIENTE DE LOS HORNOS COLMENA.

La empresa Ladrillos y Acabados S.A.S. cuenta con dos hornos colmena para la cocción de ladrillos y otros materiales cerámicos que producen alrededor 24 000 piezas en el horno grande y 15 000 piezas en el horno pequeño. Para llegar a la etapa final del proceso de producción obteniendo el ladrillo común, la materia prima debe atravesar por varios procesos de transformación del material, desde la extracción de arcilla, pasando al producto húmedo y el proceso de secado y cocción.

El proceso de secado y cocción son los cuello de botella de la planta ya que al contar con un sistema de horno colmena y unos secaderos intermitentes el proceso se vuelve periódico, produciendo un flujo energético y de material intermitente en la planta de producción, por ello dedicamos este estudio al flujo de material por los procesos de secado y cocción y las etapas que atraviesan durante estos procesos.

2.1 FLUJOGRAMA PROCESO DE COMBUSTIÓN DE LOS HORNOS COLMENA.

Las etapas que debe atravesar el material durante el proceso de cocción en los hornos colmena comprende desde la carga del material en el horno que tiene una capacidad de 24 000 piezas en el horno más grande, pasando por la etapa de precalentamiento del horno, cocción del material, enfriamiento del horno y posterior descarga, este proceso tiene una duración aproximada de 172 horas en el horno grande y 123 horas en el horno pequeño.

2.1.1 Carga del horno.

Para la carga del horno se recolecta el material seco de las cámaras de secado natural y secado artificial y se apilan en el interior del horno, 24 mil unidades en el horno grande y 15 mil unidades en el horno pequeño, en la Figura 6 se puede observar los ladrillos apilados al interior del horno colmena.

Figura 6. Etapa de carga en los hornos colmena.



Fuente: Desarrollo de una propuesta de optimización energética de los hornos colmena de la empresa Ladrillo y Acabados S.A.S.

Terminada la etapa de carga del horno se procede a cerrar el horno para la siguiente etapa.

2.1.2 Etapa de quema.

La parte fundamental en el proceso de elaboración de ladrillos y cerámicos y es la etapa de quema esta se encuentra dividida en 2 etapas: la etapa de precalentamiento o fuego lento (caldeo) cuya finalidad es retirar la humedad interna del producto y la etapa de calentamiento o fuego bravo cuyo fin es dar las propiedades cerámicas al mismo.

La etapa de precalentamiento, conocida como caldeo, tiene una duración aproximada de 26 horas en el horno grande, y de 21 horas en el horno pequeño, los gases producidos durante esta etapa, de baja temperatura $<300^{\circ}\text{C}$, no son desechados por la chimenea, en cambio salen al ambiente por medio de unos orificios en la parte superior de los hornos.

La etapa de fuego bravo o quema plena tiene una duración de 72 horas en el horno grande y 50 horas en el horno pequeño, en esta etapa se cierran los orificios superiores del horno y los gases de combustión son expulsados por la chimenea al ambiente.

2.1.3 Etapa de enfriamiento y descarga.

Una vez el producto se encuentra listo, se para la quema de combustible en los hornos y empieza la etapa de enfriamiento del mismo, para ello se deja pasar un tiempo aproximado de 6 horas donde los gases residuales de la combustión se desechan por la chimenea, después se extrae calor residual del horno para ser aprovechado en el proceso de secado. Finalmente se abren las puertas del horno y

se extrae calor con una turbina enfriadora antes de poder comenzar la descarga del horno.

La etapa de enfriamiento tiene una duración de 50 horas en el horno grande y 30 horas en el horno pequeño.

Pasada la etapa de enfriamiento se inicia la etapa de descarga, en la cual se retira el producto ya terminado para la etapa de embarque, esta etapa tiene una duración aproximada de 12 horas en el horno grande.

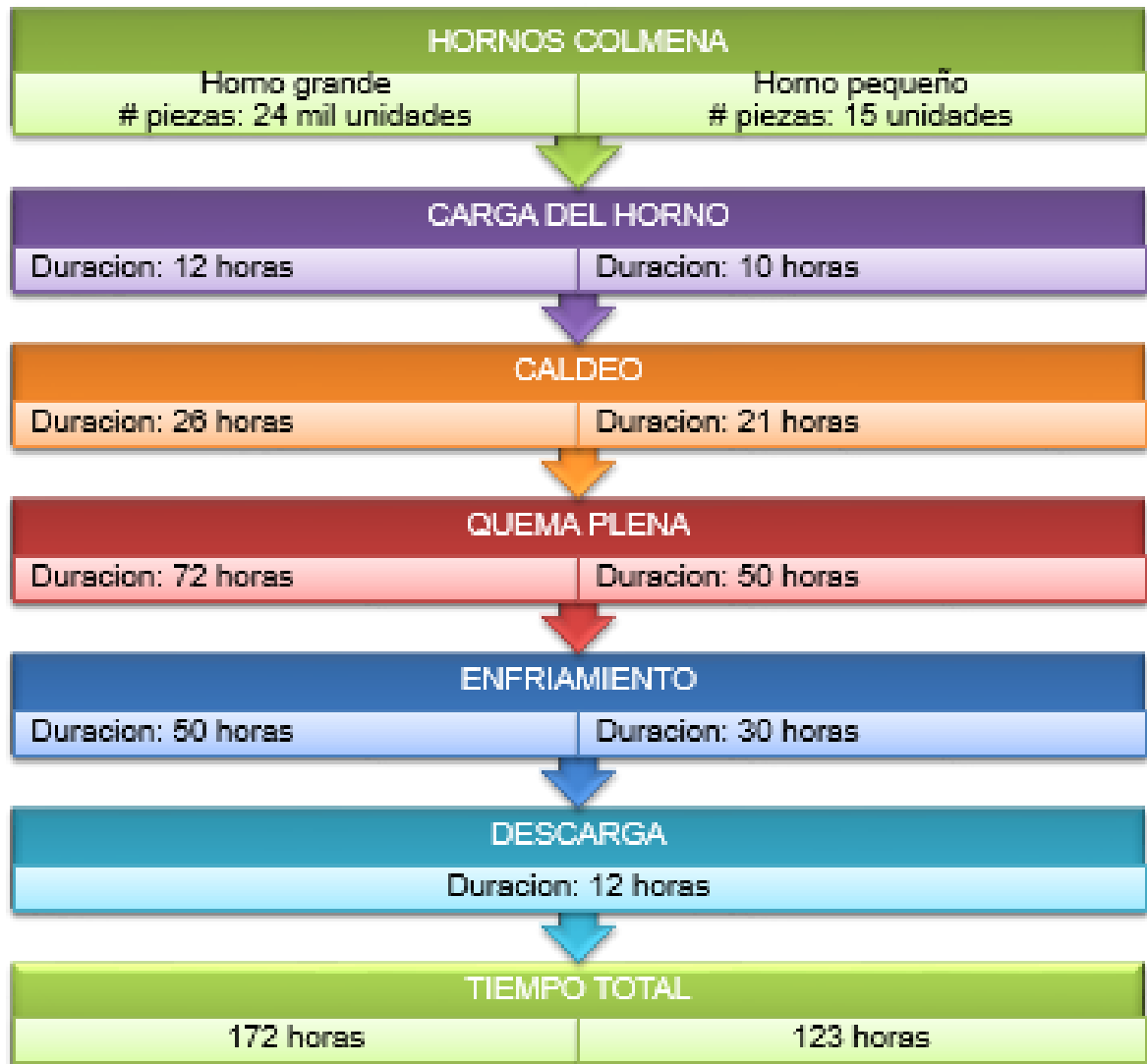
2.1.4 Flujo de material en hornos

La empresa Ladrillos y Acabados S.A.S. posee en su planta dos hornos colmena para la etapa de cocción de ladrillos, el horno grande, de diámetro 11 m, tiene una capacidad de producción de 24 mil unidades por periodo de funcionamiento, mientras que el horno pequeño, de diámetro 9 m, posee una capacidad de 15 mil unidades de producción por periodo de funcionamiento.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo del funcionamiento de los hornos colmena.

Como podemos observar en la figura 7, el horno grande tiene una producción de 24 000 unidades de ladrillo en un periodo de 172 horas, mientras el horno pequeño provee 15 000 unidades cada 123 horas.

Figura 7. Diagrama de flujo de material en los hornos colmena.



Fuente: Autores.

2.2 ESTUDIOS EXPERIMENTALES DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN EN LOS HORNOS COLMENA.

Para determinar las temperaturas de operación en la etapa de cocción se realizó un monitoreo en el horno grande, en el ducto de descarga y en la chimenea. Esta medición tiene como objetivo verificar que las temperaturas obtenidas en el proceso sean favorables para la implementación de un sistema de recuperación de energía. En la Tabla 1 Características de la fuente monitoreada, se relacionan las características de las fuentes de calor presentes en la empresa LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S., ubicada en el Km 7 vía Mogotes, vereda Campo Hermoso, jurisdicción del municipio de San Gil, departamento de Santander, este monitoreo se realizó el día 14 de diciembre de 2012. Durante las mediciones no se presentaron errores que alteraran los resultados obtenidos.

Tabla 1. Características de la fuente monitoreada.

Característica	Unidades	Valor
Fuente	-	Horno tipo colmena
Proceso evaluado	-	Fabricación de productos de cerámica refractaria no refractaria y de arcilla
Tipo de proceso	-	Físico y continuo
Altura ducto de descarga	m	15.8
Diámetro equivalente del ducto	m	0.67
Longitud niples	m	0.45
Geometría chimenea	-	Rectangular
Existente según Res. 908/08	-	Si

Horas de trabajo	h/día	24
Días de trabajo	día/semana	4
Semanas de trabajo	Semana/mes	3
Combustible utilizado	-	Carbón mineral
Consumo de combustible	ton	21

Fuente: información suministrada por la empresa, datos producción para una quema

2.2.1 Descripción del programa de medición.

A continuación se muestra una breve descripción de los equipos empleados en la medición de la temperatura y emisiones contaminantes de los gases de combustión producidos por los hornos colmena de la empresa Ladrillo y Acabados S.A.S.

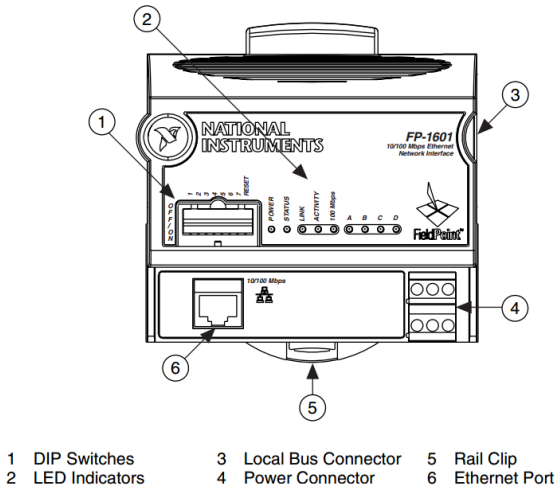
2.2.1.1 Descripción de equipos.

- **FieldPoint**

Unidad adquisidora de datos: Consta de dos unidades de manejo de datos. El módulo FP-1601 es el encargado de transmitir los datos de las mediciones que realizan los sensores al PC por medio del puerto Ethernet. En la

Figura 8, Unidad Adquisidora FP-1601, se ven las conexiones para este. El módulo FP-160 es alimentado por una fuente de 12 voltios, lo que evita que la alimentación este oscilando y se produzcan mediciones erróneas debido a la perturbación del voltaje.

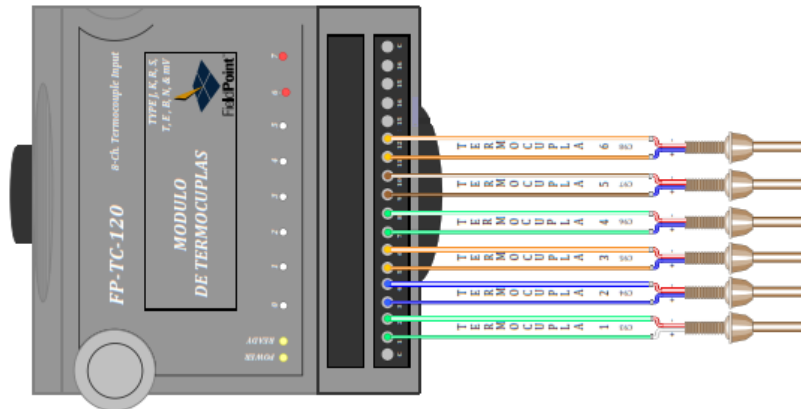
Figura 8. Unidad Adquisidora FP-1601.



Fuente: Autores.

El módulo FP-TC-120 (Unidad Adquisidora FP-TC-120 ver Figura 9) permite medir las temperaturas utilizando termocuplas, contiene 16 canales que permiten conectar 8 termocuplas. Maneja 8 tipos de termocuplas: J, K, R, S, T, N, E y B. Maneja 4 rangos de voltajes: ± 25 , ± 50 , ± 100 y -20 a 80 mV. Cuando alguna termocupla no funciona correctamente o el canal no se está utilizando, el LED del canal se torna rojo como medida de advertencia. En la Figura 9, Unidad Adquisidora FP-TC-120, se ven las conexiones de este módulo. Es alimentado por el FP-1601. Esta unidad adquisidora contiene un sistema de corrección de acuerdo al tipo de termocupla que se esté utilizando, por lo tanto las termocuplas no necesitan corrección de medidas adicional.

Figura 9. Unidad Adquisidora FP-TC-120



Fuente: Autores.

- **Termocupla tipo K de 20 [cm]**

Diseñada para soportar temperaturas de 0 a 1500 C. También llamada Termocupla Chromel - Alumel, el Chromel es una aleación de aproximadamente 90% de níquel y 10% de cromo, el Alumel es una aleación de 95% de níquel, más aluminio, silicio y manganeso. La tipo K es la termocupla que más se utiliza en la industria, debido a su capacidad de resistir mayores temperaturas y ambientes contaminantes que las otras (ver Figura 10 Termocupla tipo K).

Figura 10. Termocupla tipo K.



Fuente: Autores.

- **Termocupla tipo K revestida**

Posee todas las características de la tipo K sencilla, solo que esta termocupla tiene dos niveles de protección, en el primer nivel es revestida con pequeñas cerámicas en toda su longitud y en el segundo nivel se introduce en un tubo donde la primera mitad es acero y la segunda mitad es cerámica (ver Figura 11, Termocupla tipo K revestida). Estos niveles de protección se deben a que el ambiente de trabajo es altamente corrosivo. Van conectadas al módulo FP-TC-120.

Figura 11. Termocupla tipo K revestida.



Fuente: Autores.

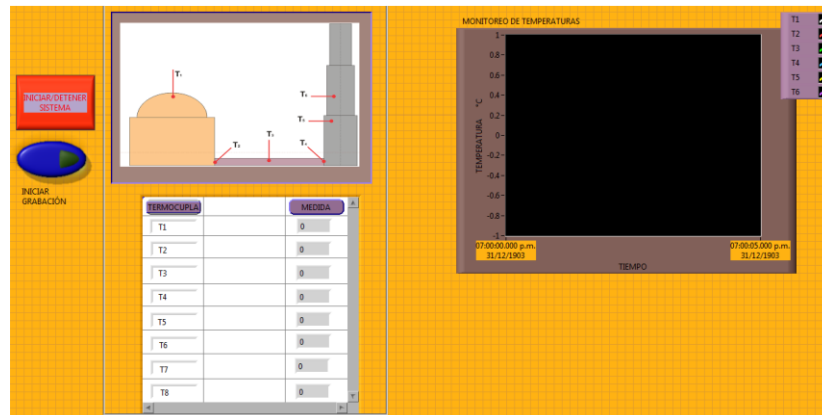
- **Computador**

Con dispositivos de entrada y salida: Mouse, teclado y pantalla. El módulo FP- 1601 encargado de transmitir las mediciones de las termocuplas, es conectado al computador por un cable Ethernet, donde son almacenados los datos. Necesita un procesador capaz de soportar un sistema operativo XP o vista, capacidad de 10 Gb en el disco duro donde almacena la información y 2 Gb de memoria RAM.

- **National Instruments LabVIEW**

Permite el procesamiento de datos dentro del computador. Utilizando Measurement & Automation Explorer se puede reconocer la unidad Field Point, para así enlazar la unidad adquisidora con un código LabVIEW, este código permite procesar los datos de forma ordenada y clara. En la Figura 12, Interfaz gráfica LabVIEW, se puede ver la interfaz gráfica del código.

Figura 12. Interfaz gráfica LabVIEW.



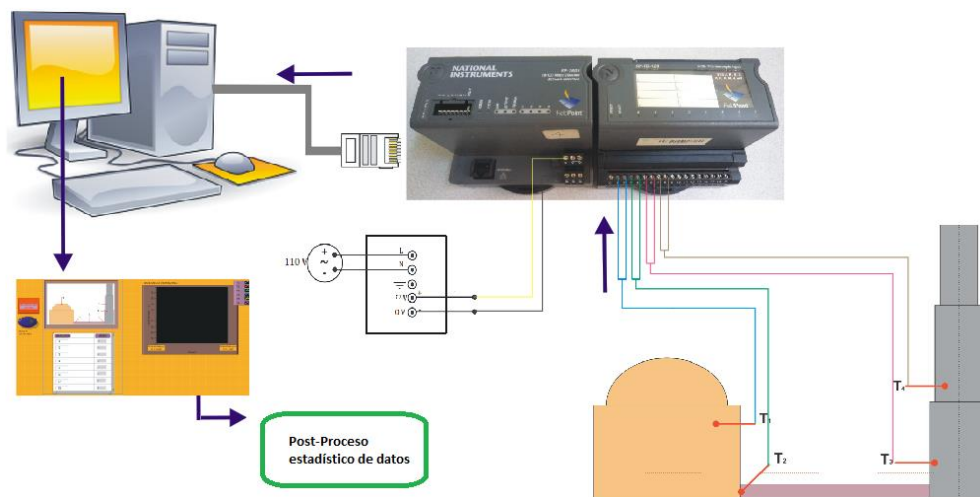
Fuente: Diseño de un sistema para la recuperación de calor residual en los gases de combustión de los hornos colmena en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.

2.2.2 Montaje experimento.

El montaje del experimento se puede apreciar en la Figura 13, Montaje del experimento. El experimento consiste en instalar termocuplas en el horno tipo colmena, ducto de transporte de los gases y en la chimenea como se ve en la Figura 14, estos lugares de medición son los necesarios para verificar si las temperaturas

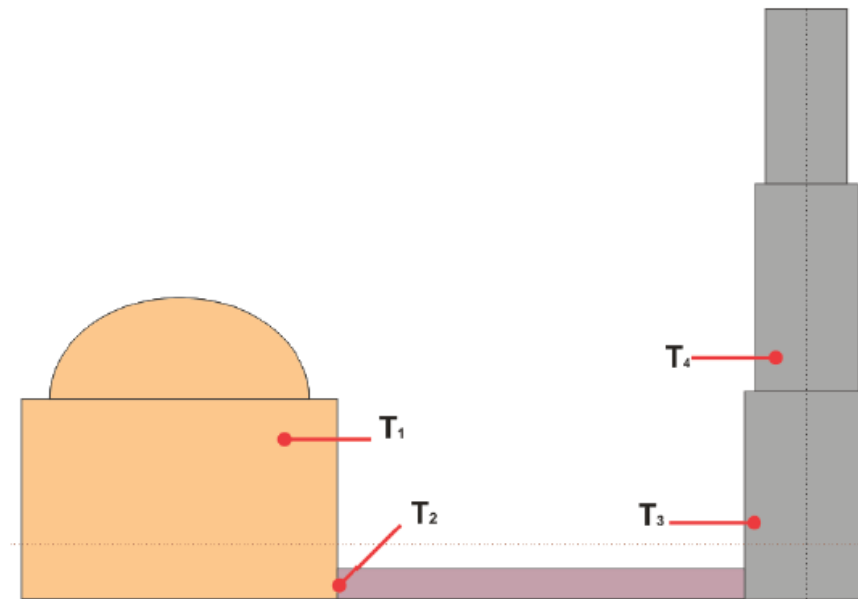
en el proceso de quema plena son favorables para la implementación del sistema recuperador de energía. Las termocuplas envían una carga eléctrica que es leída por el sistema de adquisición Field point, el módulo FP-TC-120 convierte la señal analógica enviada por la termocupla en digital para luego enviarla al módulo FP 1601 que está conectado con el computador, donde esta información será almacenada. Para utilizar la información almacenada es necesario someterla a post-proceso estadístico de datos.

Figura 13. Montaje del experimento.



Fuente: Diseño de un sistema para la recuperación de calor residual en los gases de combustión de los hornos colmena en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.

Figura 14. Ubicación termocuplas en la planta.



Fuente: Diseño de un sistema para la recuperación de calor residual en los gases de combustión de los hornos colmena en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.

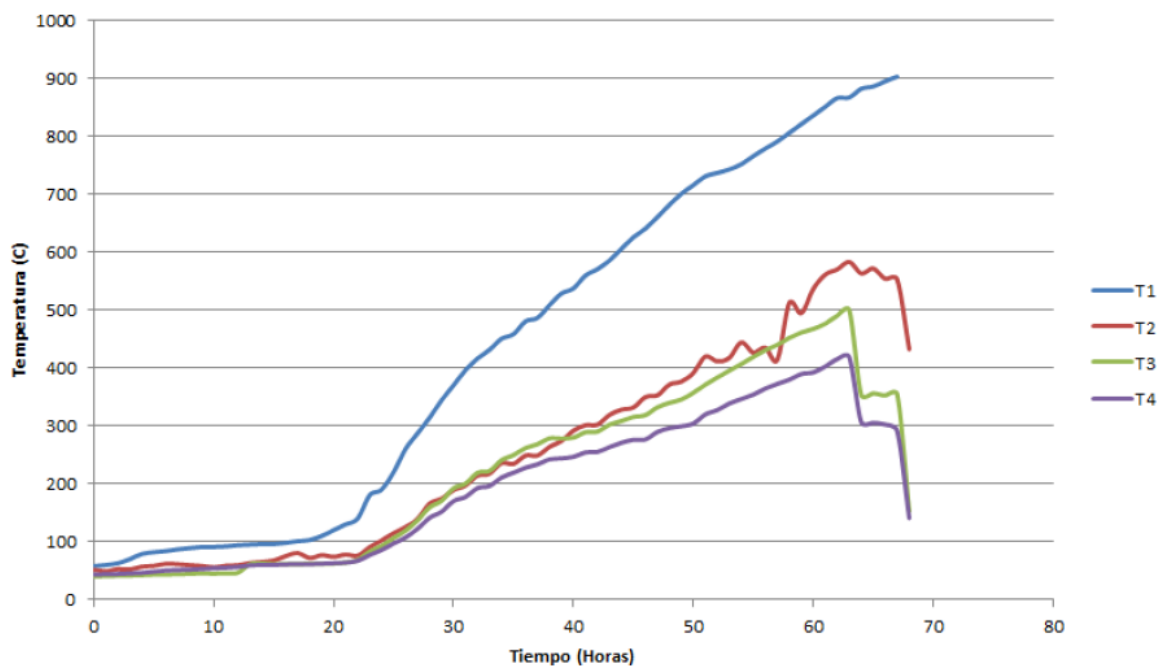
2.2.3 Resultados del experimento.

En la siguiente sección se muestran los datos obtenidos en el anterior experimento para la medición de la temperatura de los gases de combustión en el sistema de hornos colmena de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S. así como el estudio de emisiones contaminantes producidas por dichos gases.

2.2.3.1 Medición de temperaturas.

En la Figura 15 podemos observar el comportamiento real de las temperaturas en los cuatro puntos de medición descritos, siendo la curva azul la temperatura en la puerta del horno (T1), la curva roja la temperatura a la salida del horno (T2), la curva verde la temperatura en la base de la chimenea (T3) y la curva morada la temperatura a 7.5 m de la base de la chimenea (T4).

Figura 15. Resultado toma de datos de temperatura.



Fuente: Diseño de un sistema para la recuperación de calor residual en los gases de combustión de los hornos colmena en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.

En la gráfica se pueden observar variaciones de temperatura en los 4 puntos de medición, estas variaciones se deben principalmente a la apertura de las bocas de alimentación, en el momento de alimentar las bocas con carbón se deja ingresar un mayor flujo de aire afectando la temperatura de los gases. La temperatura medida a la salida del horno (T2) tiene una variación más alta debido a que por el diseño mismo de la termocupla y los recubrimientos que tiene presenta mayor inercia, lo que la hace responder más lento a los cambios de temperatura.

Durante la etapa de caldeo (entre 0 y 1500 minutos) el incremento en la temperatura no es tan notorio debido a que el gasto energético necesario para evaporar el agua presente en los productos es alto. Acompañado de ello el flujo de carbón en esta etapa inicial es casi la mitad del flujo de carbón utilizado en la etapa de quema plena.

2.2.3.2 Emisiones contaminantes.

En la empresa LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S. se realizó un monitoreo isocinético: estudio de las emisiones contaminantes de los gases producidos por el horno grande como parte del desarrollo de un proyecto de grado titulado "Desarrollo de una propuesta de optimización energética de los hornos colmena de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S". A continuación se presentan los resultados de las pruebas, esta información se tomó del proyecto de grado mencionado. La descripción de las condiciones de chimenea incluyendo el flujo, velocidad, temperatura, presiones, contenido de humedad y composición de los gases de combustión se presentan en la Tabla 2, Caracterización de los gases de la chimenea por análisis de combustión y la

Tabla 3, Condiciones de operación de la fuente.

Tabla 2. Caracterización de los gases de la chimenea por análisis de combustión.

Contaminante	Concentración	Valor
CO ₂	%	7.92500
CO	%	0.02105
O ₂	%	12.50000
N ₂	%	79.55395

Fuente: Desarrollo de una propuesta de optimización energética de los hornos colmena de la empresa Ladrillo y Acabados S.A.S.

Tabla 3. Condiciones de operación de la fuente.

Característica de los gases de emisión	Unidades	Valor
Caudal de los gases en chimenea en condiciones de referencia base seca	m ³ /s	1.52
Velocidad	m/s	9.46
Humedad	%	5.62
Temperatura	°C	376.42
Presión absoluta	mmHg	620.77

Fuente: Desarrollo de una propuesta de optimización energética de los hornos colmena de la empresa Ladrillo y Acabados S.A.S.

Dado que todos los estándares máximos, por los cuales se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas del Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial en la Resolución 909 de 2008, están establecidos a condiciones de referencia de 25°, 760 mmHg y oxígeno de referencia que depende del tipo de actividad industrial; los resultados obtenidos a condiciones locales fueron corregidos a dichas condiciones. A continuación se muestran los resultados de flujo másico y concentración obtenidos a condiciones de referencia para MP (material particulado), SO₂ (dióxido de azufre) y NO_x (óxidos de nitrógeno) de la fuente evaluada.

Para la fuente evaluada, los resultados de SO₂ no son presentados por reportarse en el laboratorio cantidades inferiores al límite de detección del método (LDM), este límite es 137,5 mg/m³.

Tabla 4. Resultados de flujo másico y concentración para MP, SO₂ y NO_x.

Concentración MP _(ref) [mg/m ³]	Flujo Másico MP _(ref) [kg/h]	Concentración SO _{2(ref)} [mg/m ³]	Flujo Másico SO _{2(ref)} [kg/h]	Concentración NO _{x(ref)} [mg/m ³]	Flujo Másico NO _{x(ref)} [kg/h]
930.24	5.10	<LDM	<LDM	64.24	0.35

Fuente: Desarrollo de una propuesta de optimización energética de los hornos colmena de la empresa Ladrillo y Acabados S.A.S.

En la Tabla 5 se muestran las concentraciones de cada uno de los contaminantes MP, SO₂ y NO_x con la corrección de oxígeno de referencia aplicable.

Tabla 5. Resultados de concentración de MP, SO₂ y NO_x con corrección de oxígeno.

Fuente	Concentración MP. [mg/m ³]	Concentración SO ₂ . [mg/m ³]	Concentración NO _x . [mg/m ³]
Horno colmena	328.32	<LDM	22.67

Fuente: Desarrollo de una propuesta de optimización energética de los hornos colmena de la empresa Ladrillo y Acabados S.A.S.

Mediante la caracterización de los gases de chimenea a través del análisis de combustión, la fuente reporta un 12.5% de oxígeno en promedio, valor menor comparado con el porcentaje de oxígeno de referencia del 18 % establecido en el Artículo 30 de la Resolución 909 de 2008. Este valor presentado en el gas de emisión disminuye las concentraciones de los contaminantes en un 64.7% cuando son corregidas por el oxígeno de referencia respecto al valor sin corrección por oxígeno de referencia. En la

Tabla 6, Comparación con la normativa y Unidades de Contaminación Atmosférica (UCA), se presenta la comparación Indicativa de los resultados con la normatividad vigente, las Unidades de Contaminación Atmosférica (UCA) y la frecuencia de evaluación de los contaminantes evaluados, acatando las disposiciones de la Resolución 909 de 2008 y el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica generada por Fuentes Fijas versión 2.

Tabla 6. Comparación con la normativa y Unidades de Contaminación Atmosférica.

Fuente	Cont.	Conc. Prom. [mg/m ³]	Norma [mg/m ³]	UCA	Comparación respecto a la norma [%]	Frecuencia de monitoreo [Año]	Cumple
Horno colmena	MP	328.32	250.00	1.3133	131.33	½ (6 meses)	NO CUMPLE
	SO ₂	<LDM	550.00	<0.25	ND	3	CUMPLE
	NO _x	22.67	550.00	0.0412	4.12	3	CUMPLE

Fuente: Desarrollo de una propuesta de optimización energética de los hornos colmena de la empresa Ladrillo y Acabados S.A.S.

2.3 FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE SECADO.

El secado es la operación mediante la cual se eliminan los líquidos (agua, alcohol, gasolina, etc.) que contienen las sustancias húmedas (madera, granos, ropa, arcilla, etc.). Para secar un material se requiere una fuente de calor y un sumidero para el vapor producido. Los dispositivos en los cuales el secado se lleva a cabo se llaman secaderos. La importancia del secado en la industria se comprende porque permite transformar muchas sustancias en materiales apropiados para su ulterior aprovechamiento o elaboración.

2.3.1 Secaderos.

Los secaderos son dispositivos provistos para realizar el proceso de secado, existen 2 medios para realizar el secado, el secado artificial, en el cual se hace pasar una corriente de gas, la cual proporciona calor al producto a secar, llevándose la humedad en forma de vapor, dicho gas puede ser aire a alta temperatura o gases

de desecho producidos por algún proceso alterno de la planta, el segundo método de secado es el secado natural, es el más sencillo y económico, consiste en la simple exposición del material a secar al aire libre, este método de secado es más eficiente en climas cálidos y poco húmedos, su principal problema es que es un método lento para su aplicación.

Los secaderos artificiales pueden ser de dos formas: secaderos intermitentes o secaderos de marcha continua, los primeros se caracterizan por tener una carga húmeda estática y se hace pasar un gas por la cámara el cual proporciona calor por convección a la carga retirando un porcentaje de humedad de esta en forma de vapor, los secaderos de marcha continua se caracterizan porque la carga húmeda está en movimiento, ya sea en flujo paralelo o en contraflujo con los gases de secado, este proceso resulta ser más económico y garantiza un flujo continuo de material.

Actualmente la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S en su línea de producción el proceso de secado se realiza de dos formas:

Secado Artificial:

La empresa Ladrillos y Acabados S.A.S cuenta con tres secaderos artificiales de marcha intermitente con dimensiones de 5 x 16 x 3m con una capacidad de 3000 unidades de ladrillo común por secadero. La fuente de calor utilizada en estos secaderos son los gases provenientes del horno colmena cuando este se encuentra en la fase de enfriamiento. Actualmente estos secaderos producen un estimado de 6000 unidades de material seco para el proceso de cocción por periodo de funcionamiento de los hornos colmena, 172 horas en el horno grande.

Considerando que la carga requerida por los hornos colmena es de 24 mil unidades para el horno grande y 15 mil unidades para el horno pequeño, el material entregado por los secaderos artificiales no cumple con los requerimientos de producción por ello la empresa emplea el sistema de secado natural, el cual provee del resto de material requerido por los hornos.

Figura 16. Secaderos Artificiales de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.



Fuente: Autores.

Secado natural:

El otro método de secado implementado por la empresa es el secado natural, para el cual disponen cualquier espacio de la planta para realizar el secado de los ladrillos, este método de secado produce los ladrillos restantes para el proceso de cocción de los hornos colmena y tiene un tiempo de secado de 10 a 15 días,

dependiendo de las condiciones climáticas de la zona donde se encuentra ubicada la planta.

Figura 17. Secado natural en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.



Fuente: Autores.

Cabe destacar que en situaciones en las que se requiere aumenta el producto seco para cumplir con entregas de pedido la empresa recurre al uso de hornillas para el calentamiento del aire en los secaderos artificiales y así aumentar su tiempo de funcionamiento.

2.3.2 Carga, operación y descarga de los secaderos.

Actualmente la empresa Ladrillos y Acabados no cuenta con ningún método ni procedimiento establecido para el uso de los secaderos artificiales, siendo la inspección visual de un termómetro el indicado de cuando inicia y como se lleva el

control del proceso de secado en los secaderos artificiales. Debido a las condiciones y el bajo aprovechamiento energético de los gases producto de la combustión en los hornos colmena, actualmente la empresa solo tiene en funcionamiento 2 de los 3 secaderos existentes, produciendo un total de 6 mil unidades de producto seco.

Al ser secaderos intermitentes, no se maneja de forma continua el flujo de material en los secaderos, para la operación de dichos secaderos se manejan 3 etapas para su funcionamiento:

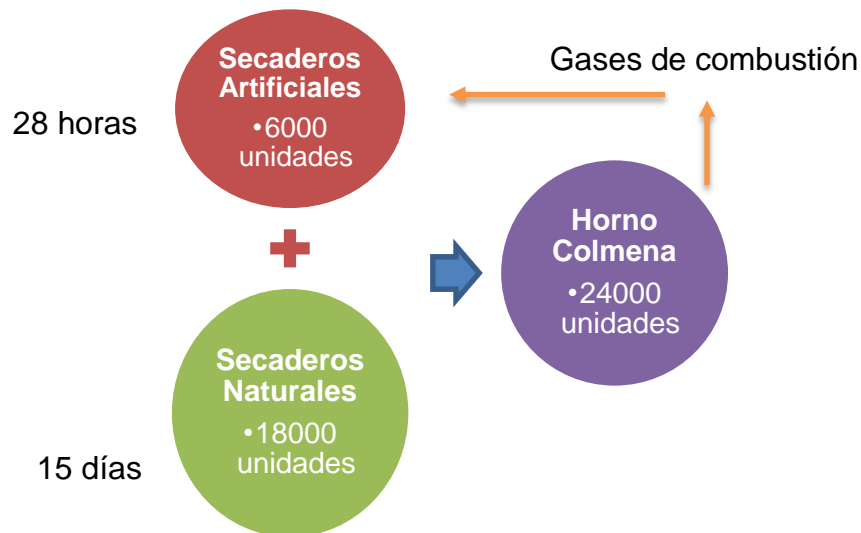
Etapa 1: Carga del secadero, esta etapa consiste en la carga de material húmedo al secadero. Tiene un tiempo estimado de 2 horas.

Etapa 2: Secado, esta etapa se permite el ingreso del aire a alta temperatura para la extracción de humedad del material cargado. Tiempo estimado: 24 horas.

Etapa 3: Descarga, en esta etapa se procede al proceso de descargar el material seco de los secaderos. Tiempo estimado: 2 horas.

2.3.2.1 Flujo de material en el proceso de secado.

Figura 18. Flujo de material en proceso de secado.



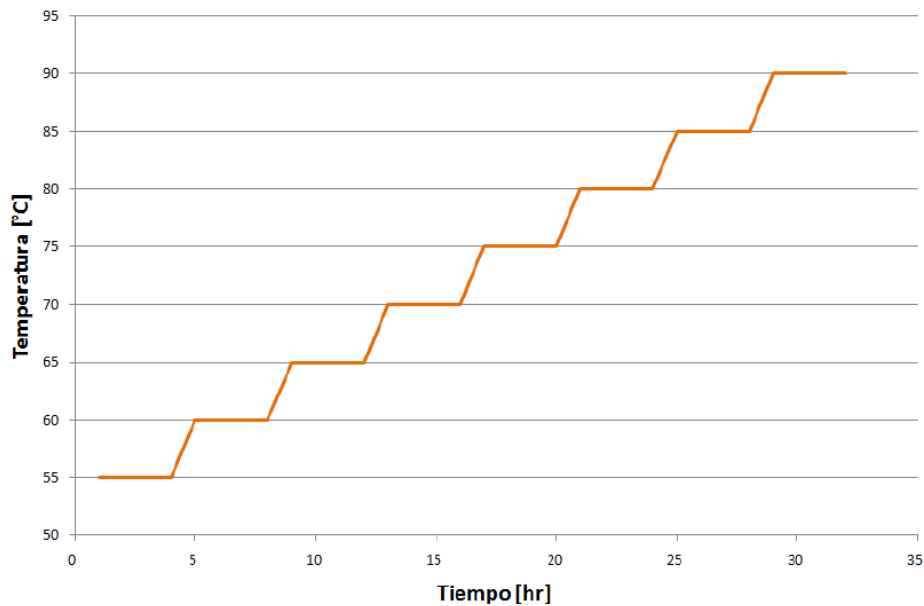
Fuente: Autores.

2.3.3 Estudio experimental en el proceso de secado.

Para el correcto secado de los productos dentro de las naves de secado se debe cumplir con ciertos requerimientos de temperatura. El proceso de secado comienza con una temperatura de 55°C, luego cada 4 horas se hace un incremento de 5°C, hasta alcanzar una temperatura aproximada de 90°C. En la Figura 19, Temperaturas necesarias en el proceso de secado, se observa la curva de secado, donde se aprecia que el secado tiene intervalos de tiempo de 4 horas con temperatura constante, esto se debe a que el secado debe hacerse de forma lenta ya que si se incrementa la temperatura de forma brusca la pieza puede presentar grietas. El control de la temperatura se da en la cámara de mezcla donde los gases

calientes (a más de 200 °C) provenientes del horno se mezclan con aire ambiente (a 24°C) para reducir su temperatura hasta la adecuada para el proceso.

Figura 19. Temperaturas necesarias en el proceso de secado.



Fuente: Diseño de un sistema para la recuperación de calor residual en los gases de combustión de los hornos colmena en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.

2.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Actualmente de la planta de producción de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S. se ha podido evidenciar.

- No existe una documentación detallada del proceso de alimentación de hornos, y manejo de secaderos artificiales.
- No existe documento guía para el operador encargado de alimentar el horno.

- En el proceso de combustión del horno grande se evidenció que la llama sale de la hornilla produciendo pérdidas de calor y emisiones de gases contaminantes como se observa en la Figura 20.

Figura 20.Hornillas del horno colmena.



Fuente: Desarrollo de una propuesta de optimización energética de los hornos colmena de la empresa Ladrillo y Acabados S.A.S.

- Existe una baja eficiencia energética de la planta, la cual bota los gases de combustión a alta temperatura al ambiente y los cuales podría ser aprovechados para el proceso de secado.
- No cumple con las normas ambientales impuestas por la resolución 909 de 5 de junio de 2008 del ministerio de ambiente y desarrollo territorial capítulo x.

3. ESTADO DEL ARTE: REGENERADORES

La escalada drástica de los precios de la energía ha hecho la recuperación de calor residual más atractivo en las últimas dos décadas. Gran parte de esta energía se desecha en forma de corrientes de escape de gases de combustión de alta temperatura. La recuperación del calor residual de los gases de combustión a través de intercambiadores de calor puede mejorar la eficiencia global de la planta y sirve para reducir el consumo energético y ayudar al medio ambiente.

El objetivo de un regenerador puede ser simplemente transferir calor de una corriente fluida a otra, otra posible opción es la de almacenar energía térmica durante un tiempo determinado. Por ejemplo, un sistema de calefacción doméstica por energía solar toma la energía del sol durante el día, y cuando la energía está disponible, se extrae por la noche para calentar.

Cuando un regenerador es utilizado como un intercambiador de calor las dos corrientes, fluido caliente y fluido frío, fluyen alternadamente a través de una matriz de gran capacidad de almacenamiento de calor. El calor cedido por el fluido caliente se almacena en la matriz, la cual aumenta su temperatura, después entrega ese calor al fluido frío cuando éste pase por la matriz, los regeneradores se caracterizan por el almacenamiento de calor sensible. Un regenerador puede también tener una configuración de corrientes paralelas, a contracorriente o cruzado.

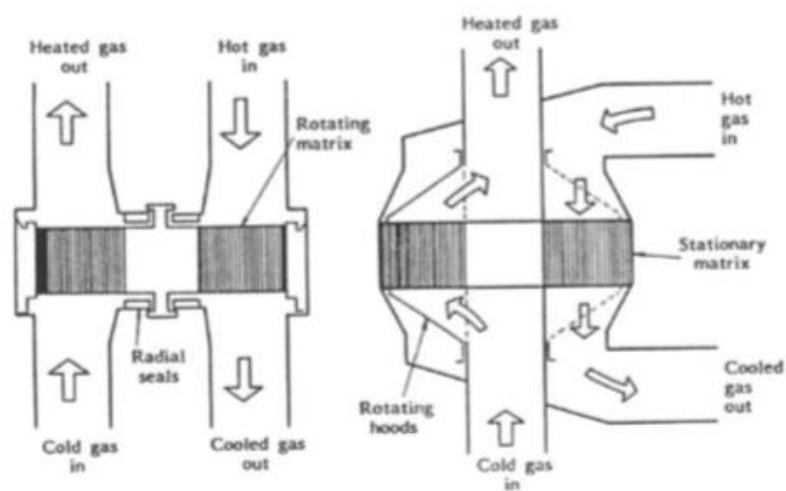
La matriz puede ser un lecho, llamados regeneradores de matriz fija, como también puede tener la forma de una rueda giratoria, llamados regeneradores de matriz rotativa. Los regeneradores han sido ampliamente usados en aplicaciones de alta temperatura, especialmente para calentar el aire por medio de productos de combustión usando una matriz de ladrillo refractario.

Los intercambiadores de calor de lecho fijo hicieron su aparición en el año 1816 donde se utilizaban disposiciones de ladrillos alternados para precalentar el aire de combustión en los hornos de acero. El regenerador rotativo nació en el año de 1919, se usa para recuperar calor residual de turbinas de gas y aire acondicionado.

El regenerador es un intercambiador de calor de tipo almacenamiento. La superficie de transferencia de calor o elementos de transferencia de calor se refieren generalmente como a una matriz. Para garantizar un funcionamiento continuo se dispone de dos sistemas:

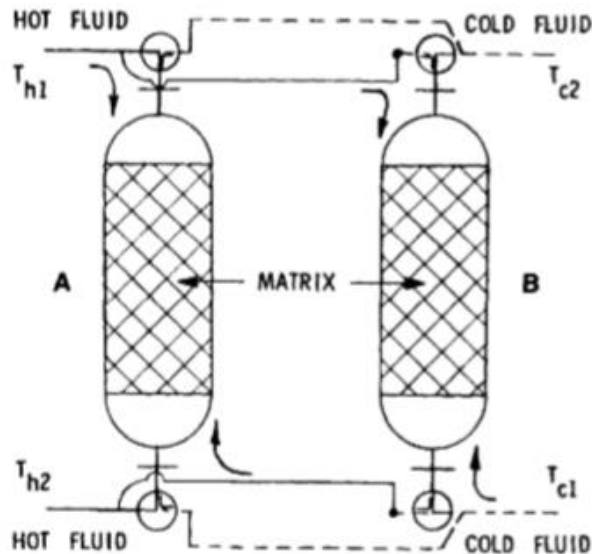
- Regenerador giratorio: consta de una matriz que se traslada girando periódicamente entre las corrientes de gases de combustión y aire recuperador (ver Figura 21).
- Regenerador fijo: Se dispone de matrices fijas en donde un juego de válvulas controlan el paso de los fluidos para almacenar y recuperar la energía (ver Figura 22).

Figura 21. Regenerador rotatorio.



Fuente: Heat exchanger design handbook

Figura 22. Regeneradores fijos



Fuente: Heat exchanger design handbook

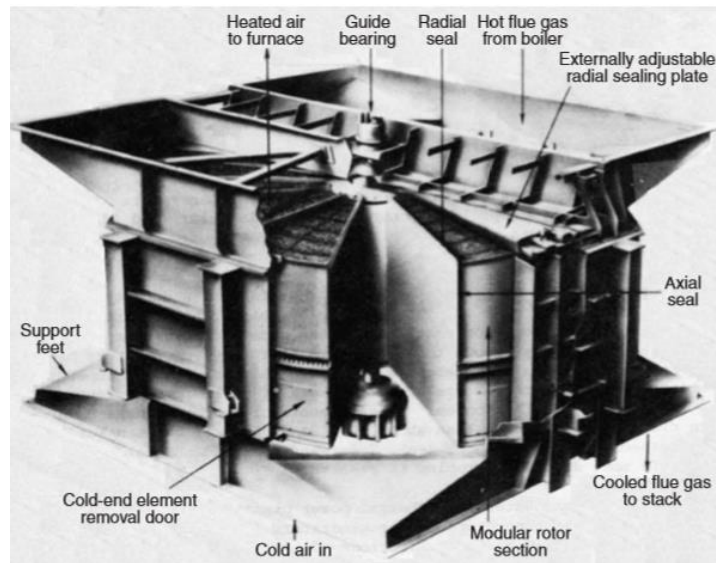
3.1 REGENERADOR DE MATRIZ ROTATIVA

Un regenerador rotativo consiste en una matriz de rotación a través del cual las corrientes de fluido caliente y frío fluyen de forma continua. El regenerador giratorio también se llama un intercambiador de calor de flujo periódico ya que cada parte de la matriz debido a su rotación continua se expone a un flujo periódico regular de las corrientes de gas caliente y frío.

El principio de regeneración giratorio se logra por dos medios, uno el flujo a través de la matriz se invierte periódicamente mediante la rotación de la matriz y dos la matriz se queda estacionaria mientras que las cabezas giran continuamente. Los ejemplos de los regeneradores rotatorios son el tipo Rothemuhle y el tipo Ljungstrom (ver Figura 23). En el tipo Rothemuhle, el capó de conexión gira mientras la matriz de transferencia de calor es estacionaria, mientras que el Ljungstrom la matriz rota.

El regenerador giratorio se utiliza en motores de turbina de gas vehicular y como un deshumidificador en aplicaciones de aire acondicionado.

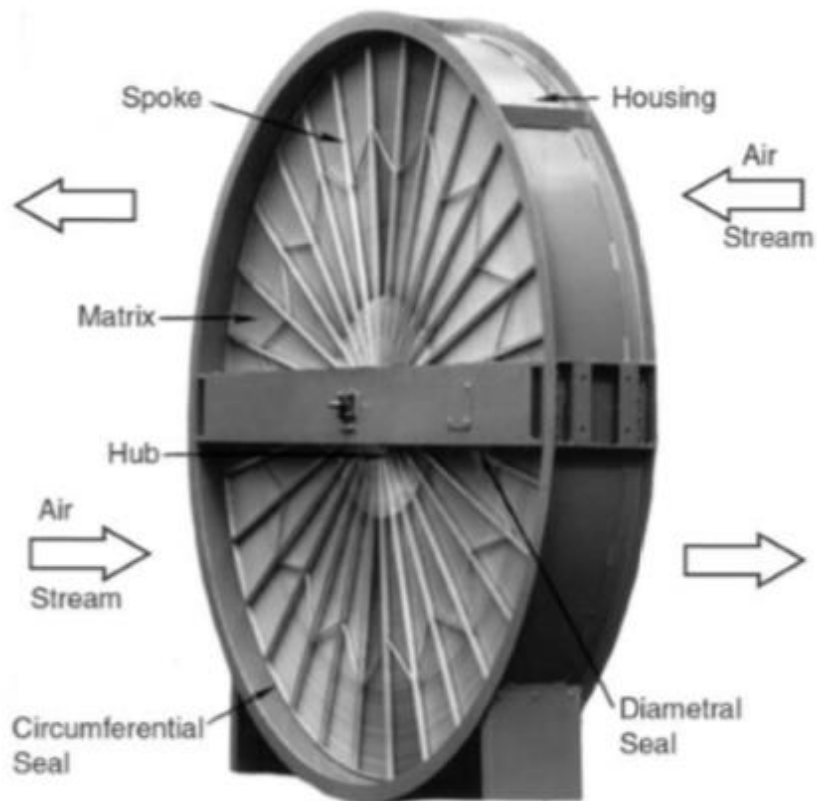
Figura 23. Regenerador tipo Ljungstrom.



Fuente: Fundamentals of heat exchangers design

La matriz de tipo de disco (ver Figura 24) se compone de capas alternas de tiras onduladas, planas y delgadas de metal envuelto alrededor de un eje central o cerámica presionando en forma de disco. En una circunstancia ideal sin mala distribución, la de un disco se ve favorecida por la menor longitud de sellado y reducir las fugas del sello. Dependiendo de las aplicaciones, los regeneradores de tipo disco se conocen como rueda de calor, rueda térmica, rueda de Munter, o rueda Ljungstrom. La matriz de tipo tambor consiste en un material intercambiador de calor en forma de tambor hueco y los gases fluyen radialmente a través de éste.

Figura 24. Matriz de generador rotativo.



Fuente: Fundamentals of heat exchangers design

Estos regeneradores están diseñados para soportar unas temperaturas desde muy bajas (criogénicas) hasta temperaturas elevadas de hasta 870°C aproximadamente para regeneradores de metal, y hasta un valor de 2000°C aproximadamente en aplicaciones donde se utilicen materiales cerámicos.

Los regeneradores generalmente se diseñan para trabajar a presiones bajas, y los rotatorios están limitados a presiones de funcionamiento de 615 kPa.

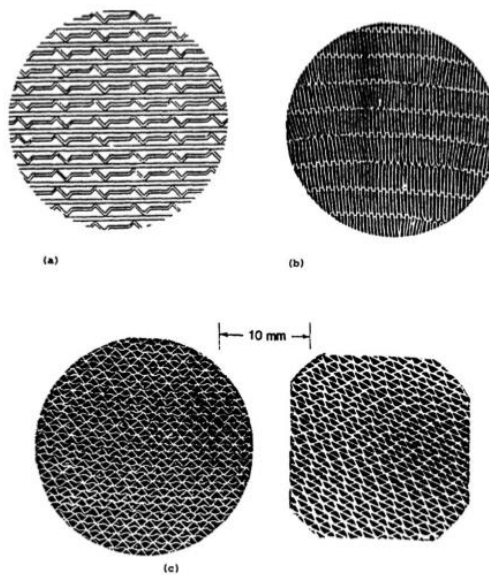
La principal característica de la matriz rotativa es que garantizan operación continua manteniendo un flujo de gases constante y garantizando un aprovechamiento de la

energía continuo. Generalmente este tipo de regenerador opera con un número de Reynolds entre 100 - 1000 (Flujo laminar).

Geometría de superficies:

La matriz tiene generalmente pasajes de flujo continuo, ininterrumpido y el fluido es sin mezclar en cualquier sección transversal para estas superficies, y consiste en un sin número de arreglos pero los más comunes suelen ser triangulares, circulares, rectangulares e incluso hexagonales (ver Figura 25).

Figura 25. Arreglos para matriz rotativa



Fuente: Heat exchanger design handbook

El material para la construcción del núcleo de los regeneradores de matriz rotativa depende de las diferentes aplicaciones para la cual el sistema está diseñado, dependiendo de su aplicación el material de construcción de una matriz rotativa puede ser:

a. Aplicaciones de operación continua:

Temperatura del fluido a la entrada $< 790^{\circ}\text{C}$

Material: estructura metálica.

Son utilizados en plantas de energía comerciales y residenciales, plantas químicas.

b. Aplicaciones de alta temperatura:

Temperatura del fluido a la entrada $> 790^{\circ}\text{C}$

Material: cerámicos.

Son utilizados principalmente en incineradores.

c. Aplicaciones de baja temperatura:

Temperatura de trabajo $< 65^{\circ}\text{C}$

Material: Papel, plástico, madera.

Aplicaciones de ventilación.

Por cuestiones de diseño las matrices metálicas y cerámicas no soportan diferencias de presión superiores a los 400 KPa (60 psi) entre el fluido frío y el fluido caliente, debido a que presentan daños en los sellos de la matriz. Las matrices para aplicaciones de baja temperatura, matrices de papel o madera, operan aproximadamente a presión atmosférica.

Ventajas de un sistema de regeneración de matriz rotativa.

1. Operación continua con una sola matriz.
2. Ocupa un menor espacio al ser aplicado a una planta.

Desventajas de un sistema de regeneración de matriz rotativa.

1. Pérdidas de flujo en los sellos radiales del sistema.
2. Mezcla de fluidos en el núcleo.
3. Requieren un motor externo para el giro del núcleo del regenerador a una velocidad deseada aumentando el consumo de energía.

Características geométricas de un regenerador de matriz rotativa.

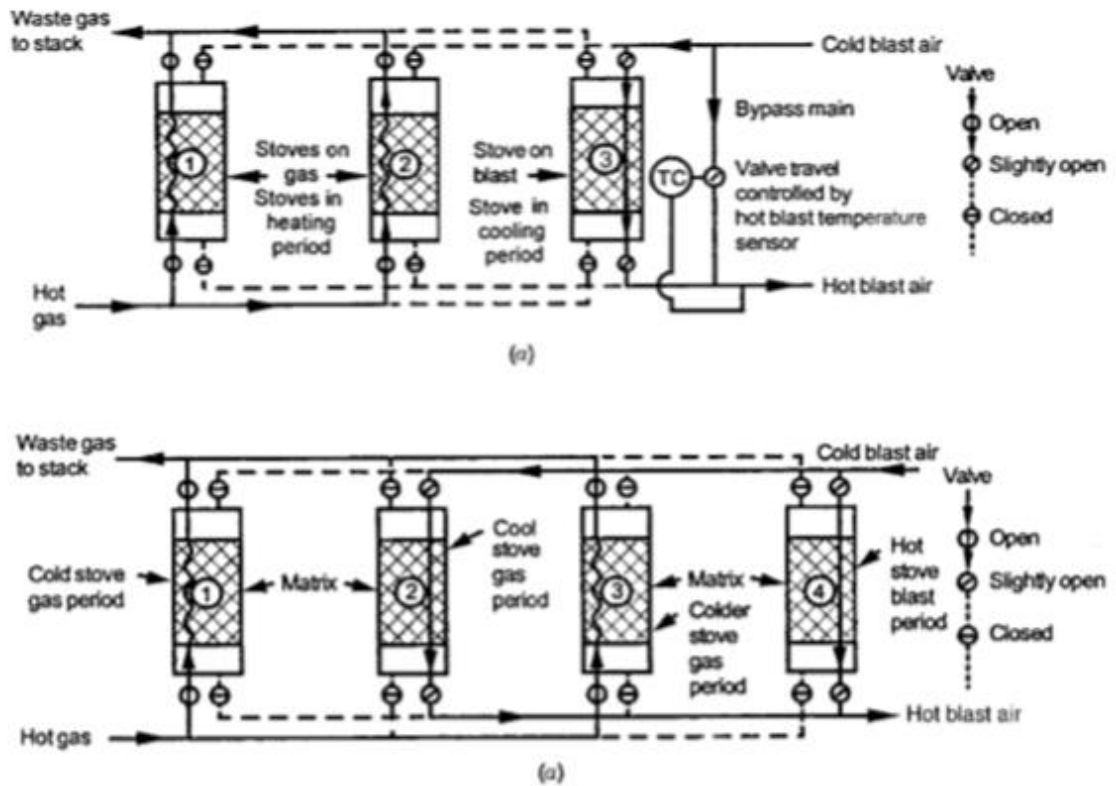
Generalmente el tamaño de un regenerador de matriz rotativa es de un rotor de 10 m de diámetro que gira a una velocidad de 0,5 – 3 rpm para regeneradores de operación continua y aplicaciones de alta temperatura.

Un regenerador de baja temperatura tiene un rotor de 0,25 – 3 m de diámetro con una velocidad de giro menor a las 10 rpm.

3.2 REGENERADOR DE MATRIZ FIJA

Este tipo también se le conoce como un regenerador de flujo periódico de lecho fijo o regenerador estacionario. Para tener una continua operación, este intercambiador debe tener al menos dos matrices idénticas operadas en paralelo e incluso en algunas aplicaciones se pueden observar tres o hasta cuatro matrices (ver Figura 26) que por lo general se utilizan para garantizar que la temperatura del fluido frío al recuperar la energía salga sin variaciones.

Figura 26. Regeneradores de matriz fija



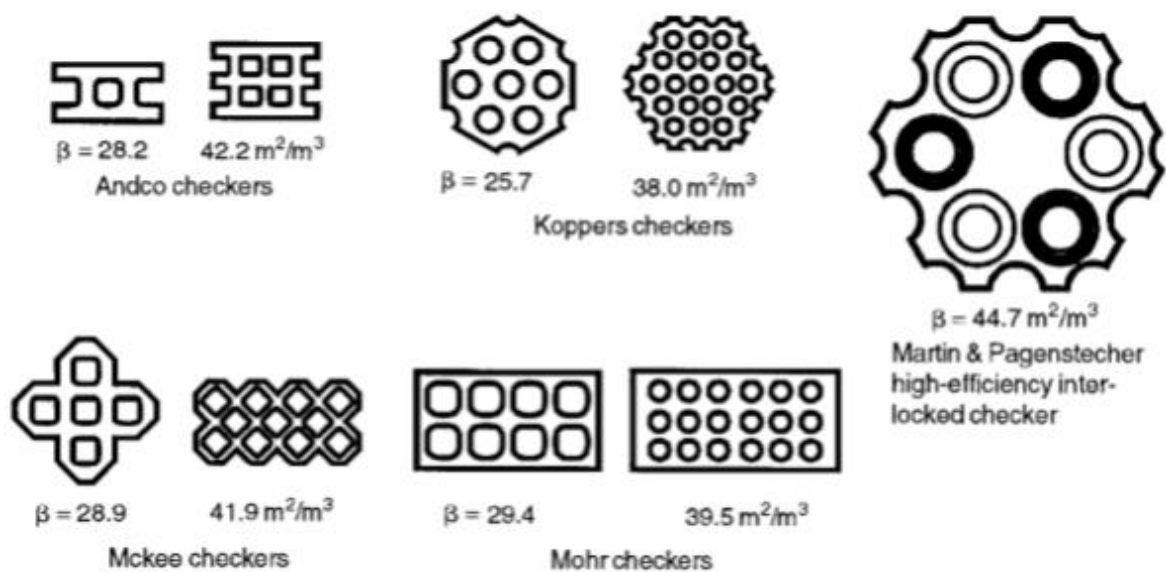
Fuente: Fundamentals of heat exchangers design

El funcionamiento es básico, mientras por una matriz atraviesa el fluido caliente que almacena la energía, por la otra matriz cruza a contracorriente un fluido frío que recupera la energía almacenada. Generalmente los ciclos de operación se encuentran entre 1 y 3 horas. Algunos intercambiadores de calor del tipo almacenamiento son utilizados como precalentadores de aire para las estufas de altos hornos u hornos de vidrio.

La forma de la matriz utilizada para la construcción de un regenerador de matriz fija depende de la aplicación. Por ejemplo en la industria de la fabricación de vidrio la matriz suele ser construida a partir de ladrillos de cerámica dispuesta en diferentes

patrones. Igual que para los regeneradores rotativos la geometría del arreglo de la matriz puede tomar diferentes geometrías, existen arreglos de ladrillos de diversas formas (ver Figura 27), arreglos de esferas con cierta porosidad e incluso lechos compactos de piedras sin ninguna uniformidad dentro de un recipiente.

Figura 27. Arreglos para regeneradores de matriz fija.



Fuente: Fundamentals of heat exchangers design

Los regeneradores de lecho fijo suelen ser intercambiadores de calor muy grandes en algunos casos con dimensiones hasta de 50 m de altura y periodos de flujo unidireccionales de muchas horas. Algunas ventajas de su aplicación son que el lecho es libre de expandirse térmicamente si es necesario, además el lecho es fácil de reemplazar o quitar para limpiar, y a diferencia de un recuperador el ensuciamiento acumulado no reduce la capacidad calorífica sino que simplemente aumenta la resistencia al flujo. Aunque una desventaja es el costo de la instalación de control de los mecanismos de conmutación de flujo.

3.3 SELECCIÓN DE SISTEMA A UTILIZAR

Para el caso de estudio se decidió la implementación de un sistema regenerador de calor de matriz fija debido a su facilidad de construcción y el uso de materiales de fácil adquisición. El diseño térmico del sistema comprende un extenso análisis el cual ha sido realizado por diferentes personalidades a lo largo de la historia, y comprende desde métodos analíticos hasta el análisis por métodos numéricos.

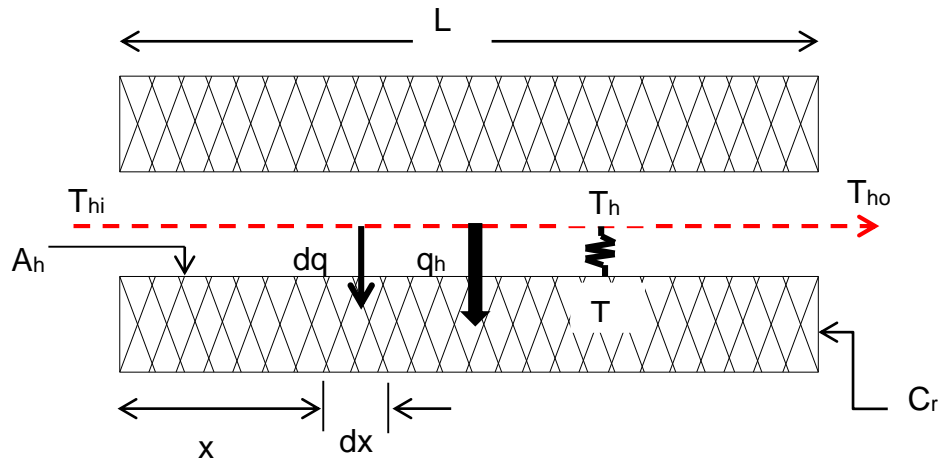
El estudio y diseño del sistema regenerador que se pretende obtener como alternativa para instalar en la empresa se basó en un análisis analítico el cual para regeneradores rotativos y de matriz fija es el mismo análisis de transferencia de calor. Existen dos métodos puntuales denominados los métodos $\varepsilon - NTU_o$ y $\Lambda - \Pi$.

Inicialmente se tienen en cuenta ciertos fundamentos hidráulicos para el diseño térmico, y aparecen factores importantes como la porosidad y la densidad de área las cuales dependen del arreglo de la matriz que se desee utilizar.

El análisis de transferencia de calor está basado en un número de suposiciones que en la sección 5.1.1 Metodología del diseño térmico para la selección del área efectiva de transferencia efectiva y calor almacenado se enuncia y son la base de las correlaciones existentes para obtener un diseño final.

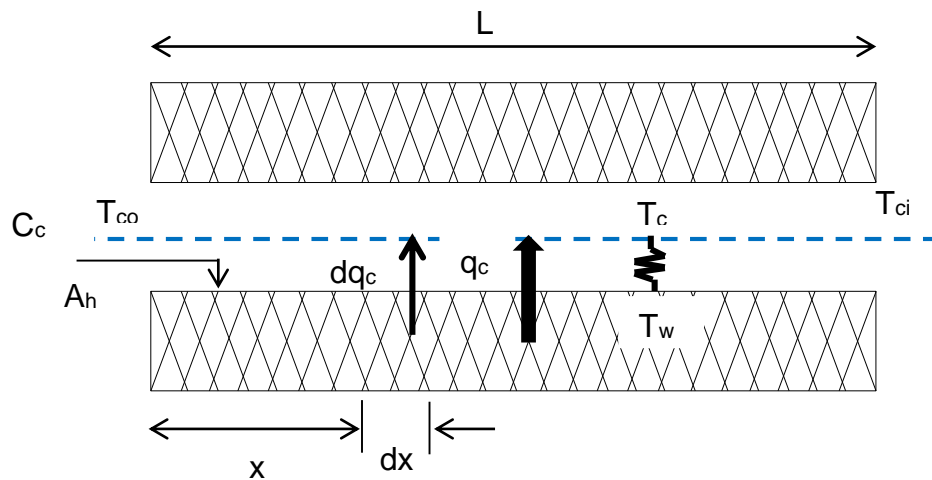
Ecuaciones generales de un sistema de regeneración de calor

Figura 28. Flujo elemental en el regenerador y matriz asociada durante el flujo de gas caliente.



Fuente: Autores

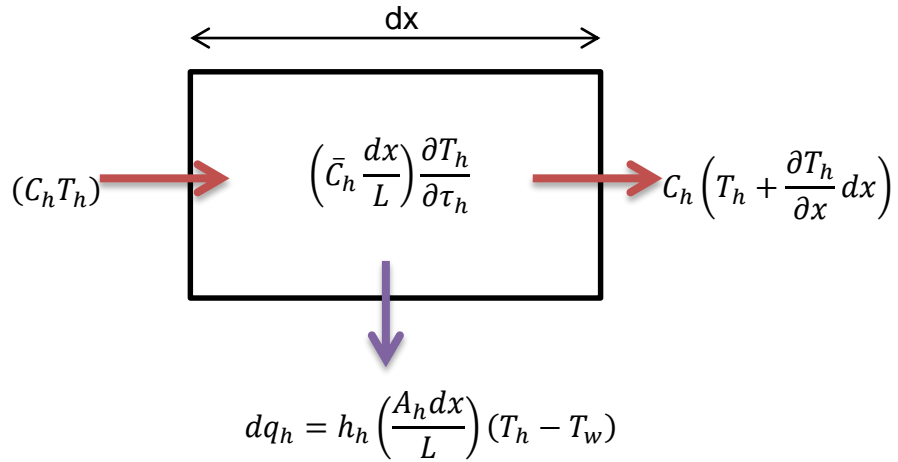
Figura 29. Flujo elemental en el regenerador y matriz asociada durante el flujo de gas frío.



Fuente: Autores

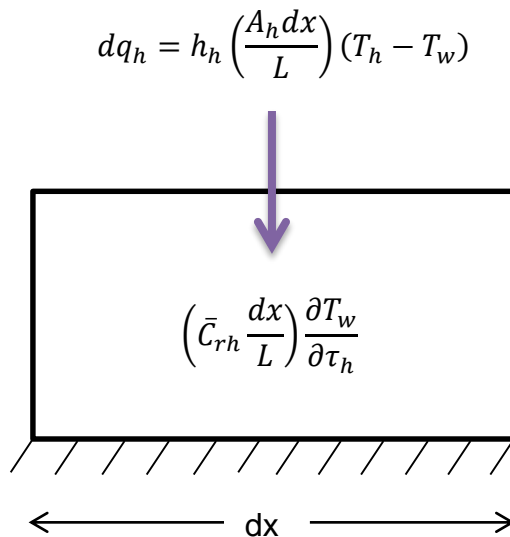
Se realiza el análisis diferencial del flujo y la matriz:

Figura 30. Análisis diferencial del flujo en la matriz.



Fuente: Autores

Figura 31. Análisis diferencial de la matriz en periodo caliente.



Fuente: Autores

Realizando los balances de energía de cada uno de los elementos tanto para el flujo del fluido caliente como del fluido frío se obtienen las siguientes ecuaciones diferenciales.

FLUJO CALIENTE:

$$\frac{\partial T_h}{\partial \tau_h} + \frac{L}{\tau_{d,h}} \frac{\partial T_h}{\partial x} = \frac{(hA)_h}{C_h \tau_{d,h}} (T_{w,h} - T_h) \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_{w,h}}{\partial \tau_h} = \frac{(hA)_h}{C_{r,h} P_h} (T_h - T_{w,h}) \quad (2)$$

FLUJO FRIO:

$$-\frac{\partial T_c}{\partial \tau_c} + \frac{L}{\tau_{d,c}} \frac{\partial T_c}{\partial x} = \frac{(hA)_c}{C_c \tau_{d,c}} (T_c - T_{w,c}) \quad (3)$$

$$-\frac{\partial T_{w,c}}{\partial \tau_c} = \frac{(hA)_c}{C_{r,c} P_c} (T_{w,c} - T_c) \quad (4)$$

Las condiciones de frontera son las siguientes:

$$T_h(0, \tau_h) = T_{hi} = \text{constante} \quad \text{para } 0 \leq \tau_h \leq P_h$$

$$T_c(L, \tau_c) = T_{ci} = \text{constante} \quad \text{para } 0 \leq \tau_c \leq P_c$$

Las condiciones de equilibrio para la pared son:

$$T_{w,h}(x, \tau_h = P_h) = T_{w,c}(x, \tau_c = 0) = \text{constante} \quad \text{para } 0 \leq x \leq L$$

$$T_{w,h}(x, \tau_h = 0) = T_{w,c}(x, \tau_c = P_c) = \text{constante} \quad \text{para } 0 \leq x \leq L$$

Con las anteriores condiciones de frontera se puede desarrollar por un método analítico pero en el caso de las temperaturas de entrada del fluido caliente y frío no sean constantes la solución debe ser obtenida únicamente por un método numérico. Para un análisis más sencillo existen unos métodos utilizando unos grupos adimensionales que permiten determinar las características de la transferencia de calor, como lo son los métodos $\varepsilon - NTU_o$ y $\Lambda - \Pi$.

Método $\varepsilon - NTU_o$ para el diseño de regeneradores

El método $\varepsilon - NTU_o$ fue desarrollado por Coppage y London en 1953 con el cual presenta la solución de las ecuaciones diferenciales en términos de la efectividad del regenerador como función de una serie de grupos adimensionales.

El comportamiento de la transferencia de calor de un regenerador es más conveniente expresarlo como la efectividad de la transferencia de calor, que es la comparación entre la rata de transferencia de calor actual con el límite máximo termodinámico de la rata de transferencia de calor.

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \quad (5)$$

Donde ese perfecto intercambio de calor q_{max} se define como:

$$q_{max} = C_{min}(T_{hi} - T_{ci}) \quad (6)$$

Donde C_{min} es el valor mínimo de la capacidad calorífica del gas C_h o del aire C_c . Realizando una comparación con un intercambiador de transferencia de calor directo, es decir un recuperador se plantea los siguientes grupos adimensionales:

$$NTU_o = \frac{1}{C_{min}} \left[\frac{1}{\frac{1}{h_g A} + \frac{1}{h_a A}} \right] \quad (7)$$

$$C^* = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (8)$$

$$C_r^* = \frac{C_r}{C_{min}} \quad (9)$$

$$(hA)^* = \frac{(hA) \text{ en el } C_{min}}{(hA) \text{ en el } C_{max}} \quad (10)$$

Posteriormente una solución numérica de las ecuaciones diferenciales obtenida por Lamberston en 1958 utilizando un método de diferencias finitas presentando la solución de la efectividad en función de los grupos adimensionales anteriormente enunciados, pero sus resultados son presentados por Kays y London en 1998 donde a partir de todos estos estudios y experimentos nos presentan unas formulas aproximadas obtenidas a computador para un amplio rango de C_r^* y C^* .

La influencia de C_r^* en la efectividad se puede presentar por una correlación empírica para $\varepsilon \leq 90\%$ como:

$$\varepsilon = \varepsilon_{cf} \left[1 - \frac{1}{9(C_m^*)^{1.93}} \right] \quad (11)$$

Donde ε_{cf} es la efectividad de un recuperador a contraflujo definida como:

$$\varepsilon_{cf} = \frac{1 - e^{[-NTU_o(1-C^*)]}}{1 - C^* e^{[-NTU_o(1-C^*)]}} \quad (12)$$

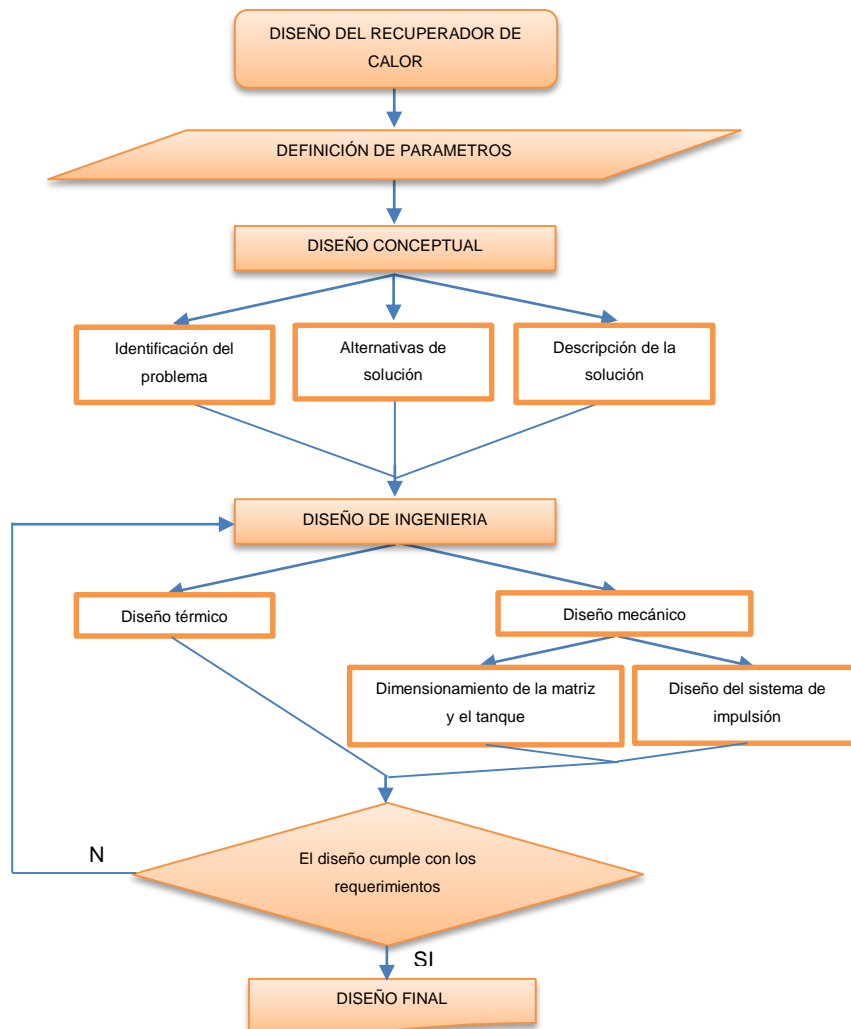
Acá se presentaron las ecuaciones necesarias para el análisis del método que se utilizó pues también existen otros métodos posibles para el diseño de un

regenerador pero que tienen unos valores equivalentes entre sí. Además cada método presenta una matemática de fondo extensa por lo cual se presenta simplemente los resultados a los que llegaron estas investigaciones.

DISEÑO DEL SISTEMA RECUPERADOR DE CALOR RESIDUAL

Como se ha mencionado la implementación del sistema recuperador de calor en la empresa pretende mejorar el proceso de secado y reducir efectos de contaminación, la idea es recuperar la energía cuando el horno está en proceso de quema plena y enfriamiento, y para obtener un diseño adecuado se deben definir los parámetros de entrada y los resultados requeridos para llegar a un diseño definitivo.

Figura 32. Diagrama de flujo del diseño del sistema.



Fuente: Autores

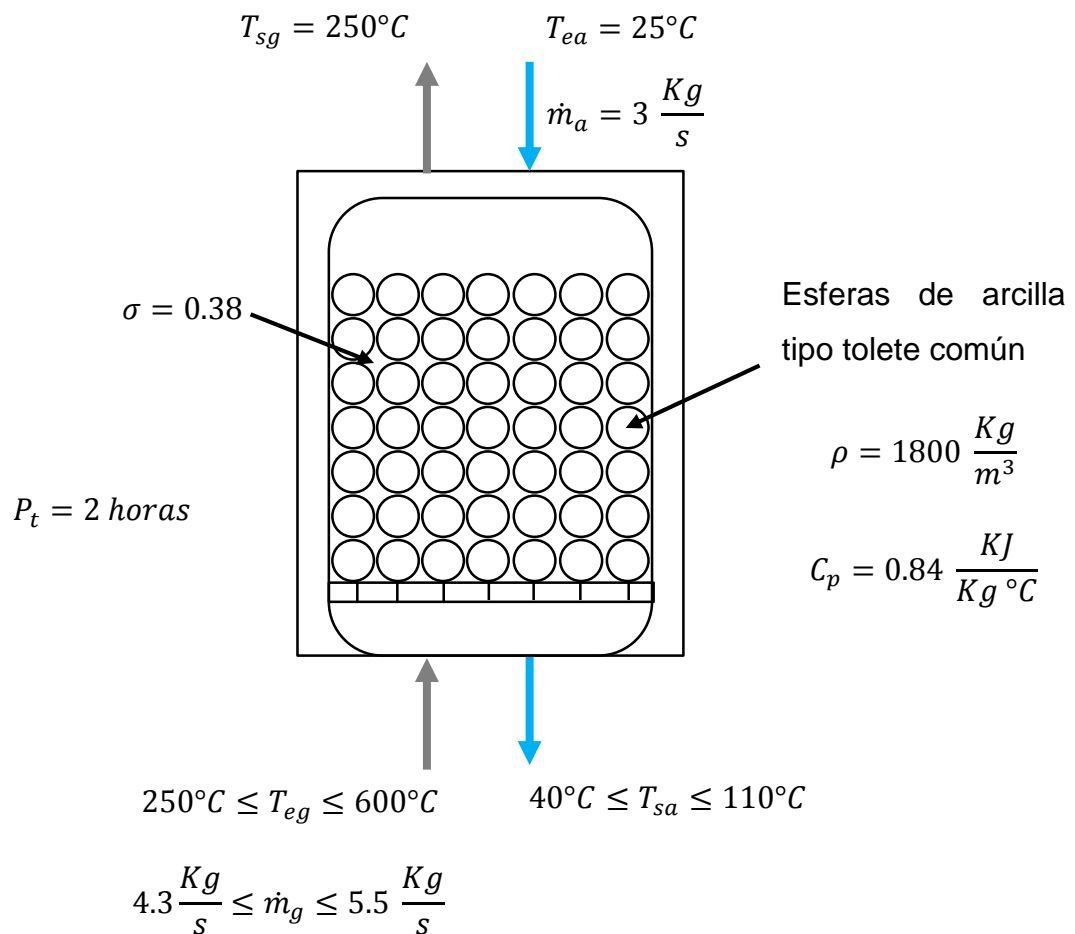
Los parámetros para el diseño del sistema de recuperación de calor residual son:

- Se conoce el perfil de temperatura de entrada de los gases de combustión T_{eg} al recuperador de calor los cuales tienen un rango entre 250°C y 600°C.
- Temperatura a la salida del recuperador de calor de los gases de combustión con un valor de 250°C.
- El flujo másico del aire \dot{m}_a depende del perfil de temperaturas y para efectos de diseño se asume un valor promedio de 3 kg/s.
- El flujo másico de los gases de combustión \dot{m}_g depende de la temperatura que para efectos de diseño se toma un perfil con valores entre 4.3 kg/s y 5.5 kg/s.
- Las propiedades de los gases de combustión y del aire dependen de la temperatura, los cuales se toman a un valor medio entre la temperatura de entrada y salida del recuperador de calor.
- La temperatura a la salida del recuperador del aire T_{sa} se conoce debido a la necesidad del proceso de secado de estar entre 40°C y 110°C.
- La temperatura a la entrada del recuperador del aire T_{ea} es la del medio ambiente y se toma con un valor de 25°C.
- Se selecciona como material de relleno arcilla con la cual se construye ladrillo tolete común y el cual tiene una densidad de 1800 Kg/m³ y un calor específico de 0.84 KJ/Kg-°C.
- El arreglo del lecho se selecciona de esferas, por consiguiente el valor de la porosidad σ se encuentra entre 0.37 y 0.39 y para el diseño se toma un valor de 0.38.
- El tiempo de operación total del ciclo de enfriamiento y calentamiento del regenerador P_t se toma de 2 horas.
- El diámetro de los tanques almacenadores se toma como un dato de entrada el cual se itera para observar cual es el mejor comportamiento de la transferencia de calor además de aprovechar el espacio disponible en la planta.

Los resultados que se requieren son:

- Área de transferencia de calor del lecho del regenerador.
- Altura de los tanques recipientes del lecho de la matriz.
- Diámetro de las esferas que componen el lecho.
- Calor recuperado por el aire para ser utilizado en el proceso de secado.

Figura 33. Esquema de parámetros de diseño.



Fuente: Autores

4. DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA

La empresa Ladrillos y Acabados S.A.S dentro de su proceso productivo utiliza carbón térmico tipo B para la cocción del ladrillo dentro de los hornos colmena (ver figura xx), generando ciertos niveles de emisión de contaminantes y material particulado los cuales deben reducirse de acuerdo a las normativas ambientales existentes en el país.

Figura 34. Horno colmena de la empresa Ladrillos y Acabados.



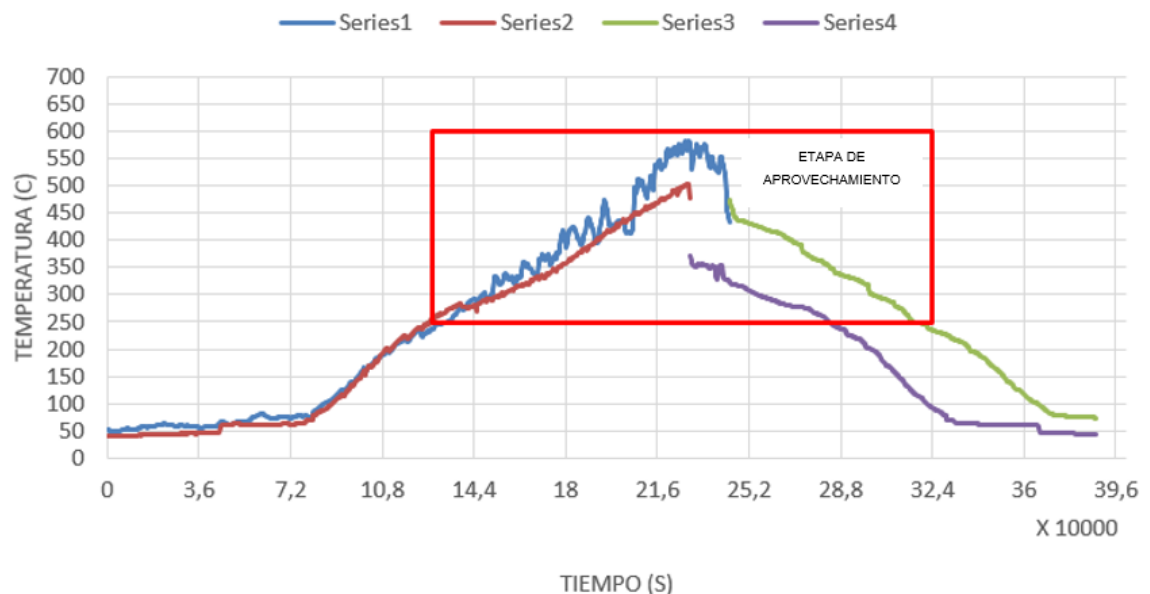
Fuente: Diseño de un sistema para la recuperación de calor residual en los gases de combustión de los hornos colmena en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.

Dichas normas ambientales regidas por los artículos 30 y 33 de la resolución 909 de 5 d junio de 2008 del ministerio de ambiente y desarrollo territorial capitulo x determinan la cantidad máxima de material particulado (250 mg/m^3) y la temperatura máxima de salida de los gases de exosto producido por un horno (250°C).

En la Figura 35 se puede observar los altos niveles de temperatura que presentan los gases exosto:

- Series1 y Series2 que representa la temperatura a la salida del horno y de la chimenea respectivamente en la etapa de quema plena, alcanzando niveles de hasta 600°C
- Series3 y Series4 reflejan el mismas temperaturas pero en la etapa de enfriamiento.

Figura 35. Temperatura a la salida de la chimenea.



Fuente: Autores.

Con los niveles de temperatura desde 250°C hasta 600°C se plantea una etapa de aprovechamiento, la cual determina el tiempo de recuperación de energía que se encuentra entre la hora 27 y la hora 87 de todo el proceso de funcionamiento del horno.

Con el fin de recuperar la mayor cantidad de energía de los gases de combustión de los hornos colmena se propone el diseño de un sistema de recuperación de energía para después ser aprovechada en el proceso de secado.

En el estudio de los sistemas de transferencia de calor encontramos 2 tipos de sistemas de recuperación de calor, los cuales son:

- Sistemas de Recuperación de calor por contacto directo: Ejemplo: Intercambiadores de calor de casco y tubos, radiador.
- Sistemas de Regeneración de calor por contacto indirecto: Es decir, el fluido caliente entra en contacto con un material, solido, aumentando la temperatura de este, luego se hace pasar el fluido frio por dicho material, transfiriendo el calor de un fluido a otro por medio de un tercer material.

En la selección del sistema a utilizar se tienen en cuenta ciertas características como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Evaluación de los sistemas recuperadores.

RECUPERADOR POR		
Características	Contacto directo	Contacto indirecto
Resistencia a altas temperaturas	Regular	Bueno
Resistencia a la corrosión	Malo	Bueno
Costo	Bueno	Bueno

Fuente. Autores.

La característica más importante y decisiva es que el sistema debe tener alta resistencia a la corrosión debido a la alta temperatura y los gases de combustión. Por eso la implementación de un recuperador de contacto indirecto es la mejor opción por causa de que para su fabricación la mayoría de materiales son productos cerámicos.

4.1 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN.

Con la implementación de un sistema de aprovechamiento de energía térmica mediante almacenamiento, utilizando un regenerador de calor de matriz fija con el cual se recupere el calor producto de los gases de combustión de los hornos colmena, para un posterior uso en el proceso de secado del material; se busca cumplir el objetivo de aumentar en un 200% el material secado y disponible para llevar a la cocción.

Actualmente la empresa seca artificialmente 6000 unidades de material por periodo de funcionamiento de los hornos, utilizando únicamente 2 de los 3 secaderos disponibles. En la Tabla 8 se observa la cantidad de material necesario para cumplir el objetivo propuesto.

Tabla 8. Cifras de secado.

	UNIDADES SECADAS
SECADO ACTUAL	6000
AUMENTO DE SECADO	12000
SECADO FINAL	18000

Fuente: Autores.

4.1.1 Justificación de la solución del problema.

Con la implementación de éste sistema se logrará una mejora en el proceso de secado de la materia prima obteniendo ventajas energéticas, ambientales, operacionales y empresariales como:

ENERGÉTICAS

Aprovechar la energía térmica de desecho producida por los hornos colmena durante la etapa de quema plena y enfriamiento para tenerla disponible para el proceso de secado.

Ahorrar energía evitando usar algún otro equipo extra para el proceso de secado.

AMBIENTALES

Reducir la contaminación ambiental logrando obtener temperaturas más bajas de los gases lanzados a la atmósfera, además se lograra una reducción en el material particulado y gases de efecto invernadero para lograr cumplir con las normas interpuestas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

OPERACIONALES

Tener la capacidad para secar el producto cuando los hornos llevan cierto tiempo apagados, lo que permitirá por ende obtener más producto listo para ingresar al proceso de cocción.

Reducción de los tiempos de producción debido a la mayor disponibilidad de materia prima.

EMPRESARIALES

Aumento en la competitividad de la empresa debido al incremento de la productividad de la empresa.

Disminución de costos de operación debido a un mayor aprovechamiento de la energía disponible.

4.1.2 Descripción de solución.

Sistema de almacenamiento de energía: Este sistema contara con 2 tanques gemelos en paralelo con posición vertical como se muestra en la Figura 36, la entrada de los gases de combustión será por la parte superior de los tanques y la salida de estos se hará por la parte inferior de los tanques en dirección a la chimenea de los hornos, dentro de los tanques se contara con un material de relleno el cual absorberá parte de la energía calórica de los gases de combustión, proceso que llamamos almacenamiento de energía, el aire a calentar con la energía almacenada entrara por la parte inferior del tanque y saldrá por la parte superior del tanque impulsado por un ventilador centrífugo, se disponen 2 tanques gemelos para garantizar un proceso continuo del sistema, en el cual cuando un tanque este en proceso de carga (almacenando energía) el otro estará en proceso de descarga (aprovechamiento de la energía almacenada).

Material de relleno: el material de relleno es el encargado de absorber parte de la energía calórica de los gases de combustión y almacenarla para una posterior aplicación, para la selección del material adecuado debemos analizar tanto el aspecto económico como sus propiedades térmicas el cual debe tener un producto $\rho * C_p$ alto. El material seleccionado es Ladrillo tolete común y que pesar de que otros materiales poseen unas propiedades más adecuadas para el almacenamiento de energía son más costosos y pierden más rápido la energía almacenada (ver Tabla 9), además el ladrillo es un producto con el cual la empresa cuenta ya que su material de desecho puede ser utilizado para este fin haciendo de este un sistema más económico.

Tabla 9. Selección de material de la matriz.

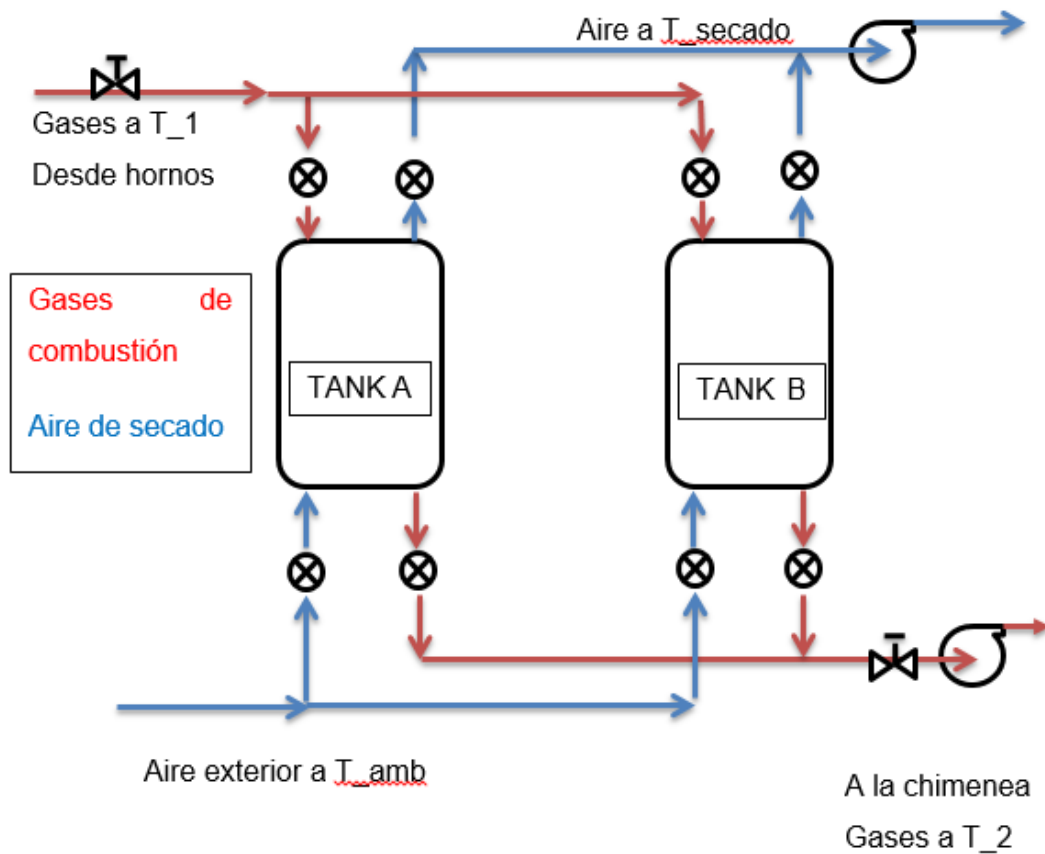
MATERIAL	C_p (J/Kg K)	COSTO	VIABILIDAD
Acero	460	Alto	Baja
Aluminio	909	Alto	Baja
Ladrillo tolete común	840	Bajo	Alta
Ladrillo de magnesita	1130	Medio	Alta
Hormigón	837	Bajo	Alta

Fuente: Autores.

Sistema de impulsión: El sistema de impulsión consta de 2 partes, impulsión de los gases de combustión e impulsión del aire para el proceso de secado, para la impulsión de los gases de combustión se cuenta con el tiro producido por la chimenea pero se debe instalar un sistema que compense las pérdidas de presión producto de la instalación de los regeneradores y que mantenga el flujo de los gases igual que antes para que no altere el proceso de cocción. Y para el sistema de

impulsión del aire se utiliza un ventilador y los ductos ya instalados en la empresa y que se está utilizando actualmente.

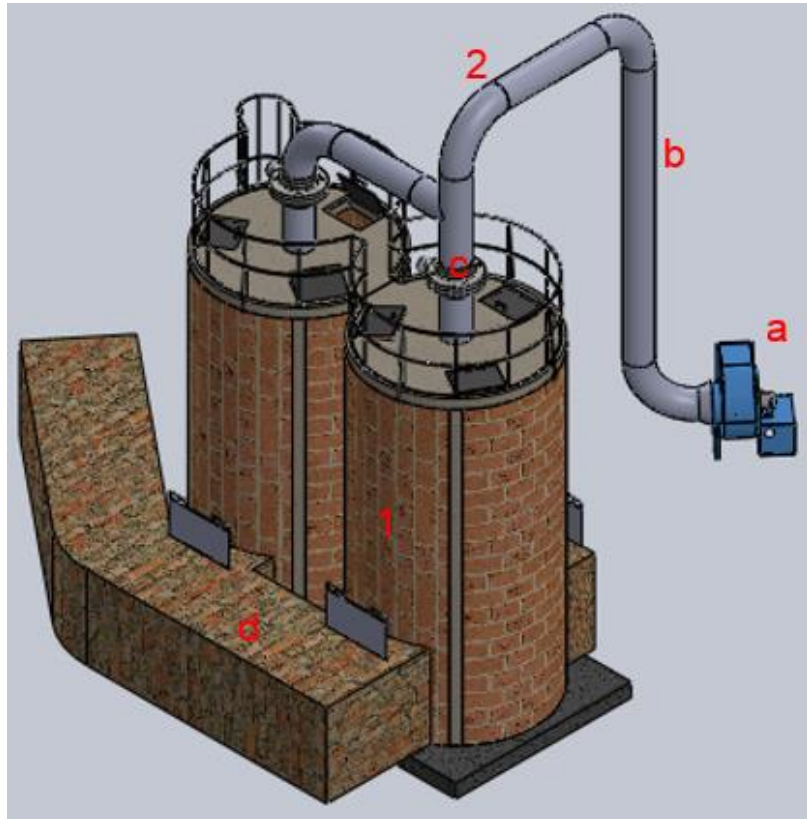
Figura 36. Solución propuesta.



Fuente: Autores.

4.2 SOLUCIÓN PROPUESTA.

Figura 37. Diseño conceptual.

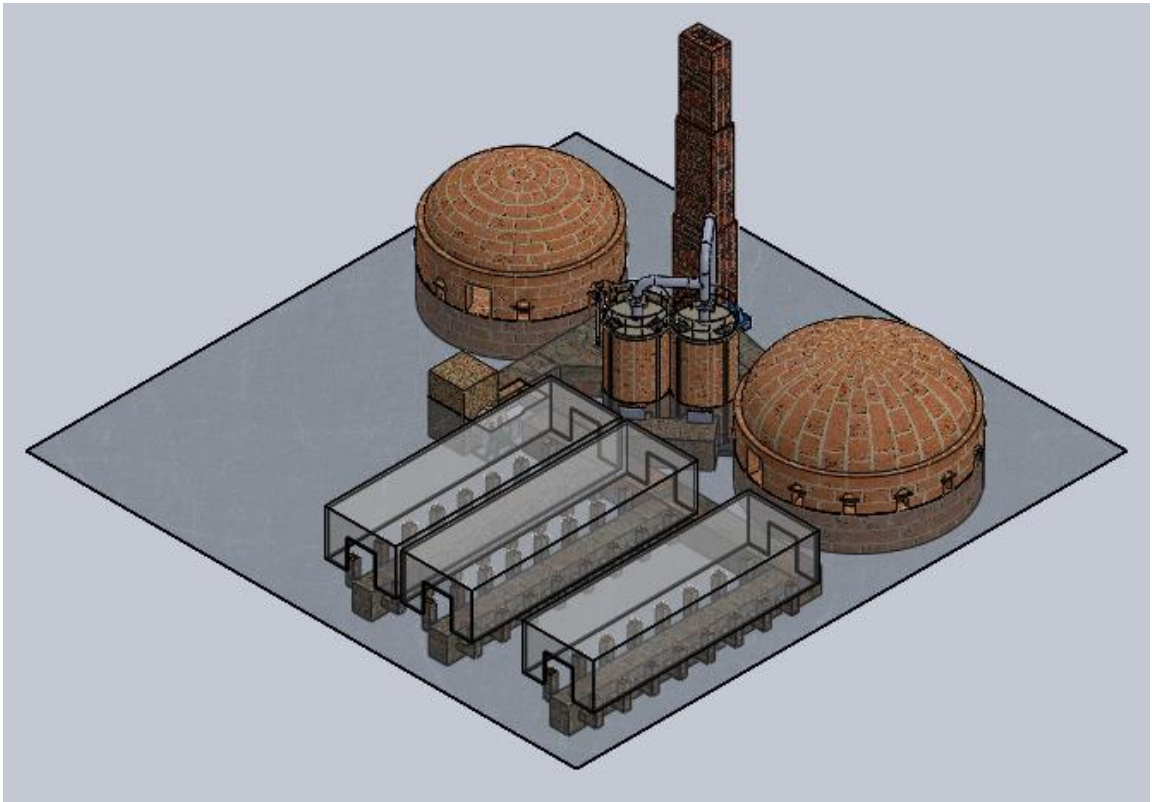


Fuente: Autores.

La propuesta seleccionada se observa en la Figura 37 que describe el conjunto general del sistema regenerador de calor el cual está compuesto por:

1. Tanques almacenadores de la matriz
2. Sistema de impulsión
 - a. Ventilador
 - b. Tuberías
 - c. Válvulas
 - d. Ductos subterráneos

Figura 38. Ubicación en la planta.



Fuente: Autores.

La distribución de espacio en la planta se muestra en la Figura 38 y la ubicación de los regeneradores además de que su tamaño es el apropiado para el espacio que había disponible también permite una fácil conexión con los ductos subterráneos existentes en la empresa.

5. DISEÑO DE INGENIERÍA.

Durante esta etapa se plantea un proceso en el cual se desarrolla la metodología del diseño del sistema recuperador de calor que consiste en los siguientes pasos:

➤ Diseño térmico del regenerador: Se desarrolla a partir del análisis de transferencia de calor y se divide en los siguientes ítems:

- Suposiciones para el análisis de transferencia de calor.
- Metodología del diseño térmico para la selección del área efectiva de transferencia de calor y calor almacenado.

➤ Diseño mecánico del regenerador: Se determinan las características físicas del sistema de cada uno de los siguientes subsistemas:

- Determinación del lecho de la matriz
 - Material de la matriz
 - Arreglo seleccionado
 - Cálculo de la longitud de la matriz
- Dimensionamiento del tanque almacenador
- Diseño del sistema de impulsión
 - Dimensionamiento y material de los ductos
 - Válvulas
 - Cálculo de pérdidas en el sistema

5.1 DISEÑO TÉRMICO DEL REGENERADOR

Análisis de transferencia de calor.

Un regenerador es un intercambiador de calor de contacto indirecto tipo almacenamiento con el cual por medio de dos flujos uno frío y uno caliente se aprovecha la energía en un lecho o matriz de buena capacidad de almacenamiento de calor, el flujo a altas temperaturas que por lo general son gases de combustión cruzan el lecho generando un aumento de temperatura del material sólido de la matriz almacenando esta energía, después el fluido frío al cruzar la matriz la recupera y posteriormente se aprovecha en algún otro proceso, éste sistema se usa principalmente para trabajo a altas temperaturas. Existen regeneradores de matrices fijas y regeneradores rotativos para los cuales el análisis de transferencia de calor es el mismo y las ecuaciones generales son ecuaciones diferenciales parciales debido a que dependen de la variación de la posición y el tiempo.

Suposiciones para el análisis de transferencia de calor

Para el análisis de transferencia de calor y la obtención de las ecuaciones pertinentes se tiene en cuenta las siguientes suposiciones:

- Operación de funcionamiento cuasi-estática (flujo constante) a temperaturas de entrada constantes en los dos fluidos.
- Sistema adiabático.
- Las paredes del regenerador no son fuentes de calor.
- No existe cambio de fase del material en la matriz.
- Velocidad y temperatura de cada fluido a la entrada es uniforme sobre la sección transversal y constante con el tiempo.

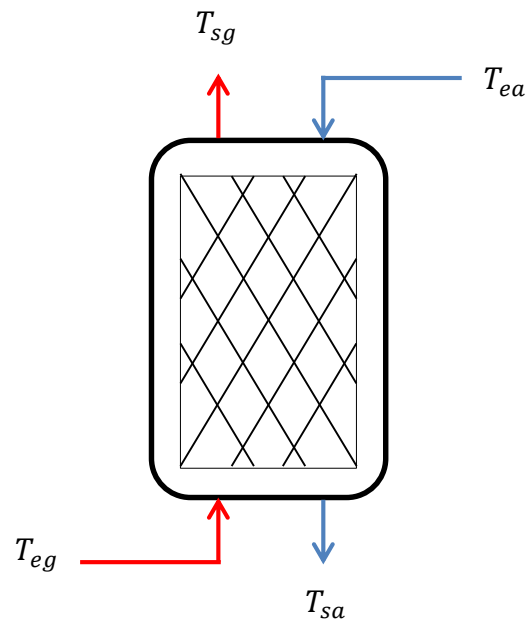
- El análisis es basado en el promedio de las propiedades termo físicas de los materiales de la matriz y los fluidos.
- Los coeficientes de transferencia de calor entre los fluidos y la pared de la matriz son constantes con la posición, temperatura y tiempo cruzando el regenerador.
- La conducción de calor longitudinal en la pared y los fluidos es despreciable
- La temperatura a través del espesor de la pared es uniforme en una sección transversal y la resistencia térmica de la pared se trata como cero para la conducción.
- No hay pérdidas de flujo
- El área superficial de la matriz así como la masa se distribuye uniformemente.
- Tiempo de cambio de periodo despreciable.
- Transferencia de calor por radiación despreciable comparada con la transferencia de calor por convección.
- El gas atrapado en el tiempo de cambio de flujo es despreciable con el periodo de flujo.

5.1.1 Metodología del diseño térmico para la selección del área efectiva de transferencia de calor y calor almacenado.

El proceso de cálculo que se desarrolló para el diseño de la propuesta tuvo los siguientes pasos:

1. Identificar las variables conocidas, en este caso se tiene el perfil de temperaturas de entrada de los gases de combustión al almacenador proveniente del horno T_{eg} al igual que la temperatura de salida T_{sg} la cual se registrará por la norma ambiental, además se tienen las temperaturas de entrada y salida del aire de recuperación T_{ea} y T_{sa} .

Figura 39. Variables de entrada del regenerador.



Fuente: Autores.

2. Identificar el fluido de trabajo, en este caso los gases de combustión producto de los hornos colmena, realizando el respectivo análisis para el cálculo de las diferentes propiedades de la mezcla de los gases. Igualmente se determinan las propiedades del aire de recuperación.

Las propiedades a calcular son: viscosidad μ , densidad ρ , calor específico c_p , conductividad k , y difusividad térmica α .

Estas propiedades se calculan a un valor promedio entre las temperaturas de entrada y salida de cada fluido T_{prom} . Para el caso de los gases calientes se

tiene una variación de temperaturas de entrada debido a que esta no permanece constante durante el proceso de cocción del horno, entonces se obtiene un valor diferente de las propiedades para cada valor de temperatura de entrada.

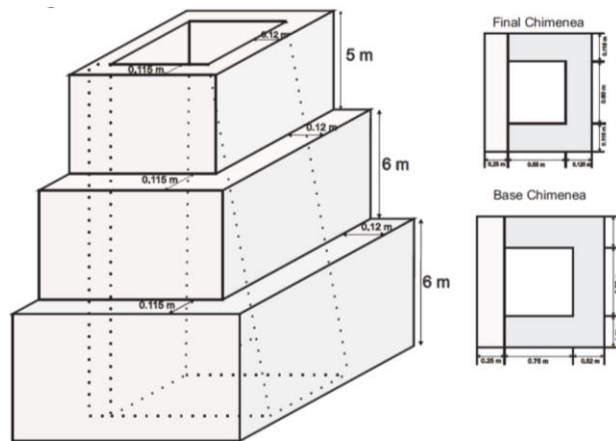
$$T_{prom} = \frac{T_e + T_s}{2} \quad (13)$$

3. Se calcula el flujo másico de los gases en el sistema que va a estar determinado por el tiro de la chimenea el cual depende de una diferencia de temperatura entre los gases de salida y el ambiente. Porque se debe garantizar que una vez instalado los regeneradores este flujo continúe siendo el mismo de antes para no afectar el proceso de combustión de los hornos.

El proceso se desarrolla a partir de unos valores ya conocidos:

- Altura de la chimenea $h=17$ m.

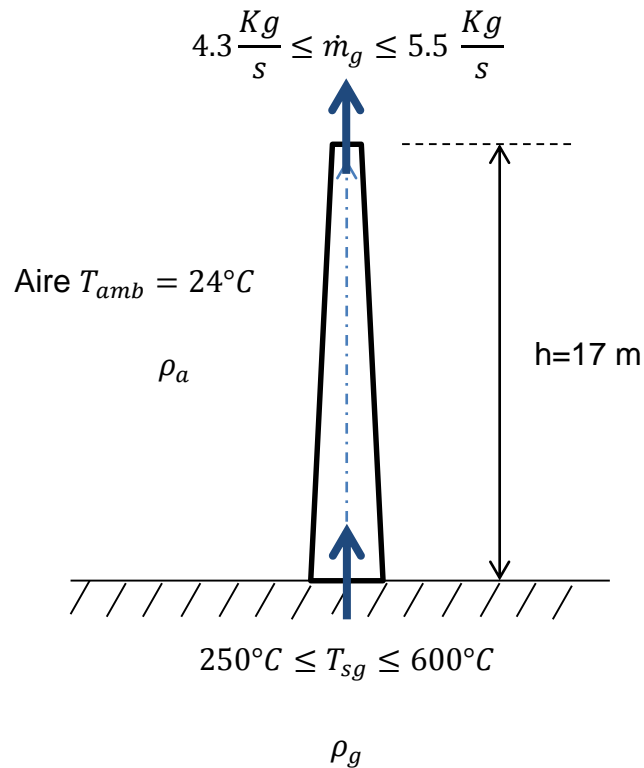
Figura 40. Dimensiones chimenea.



Fuente: Diseño de un sistema para la recuperación de calor residual en los gases de combustión de los hornos colmena en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.

- Área transversal promedio de la chimenea $A_{ch} = 0.45 \text{ m}^2$.
- Temperatura ambiente $T_{amb} = 24^\circ\text{C}$.
- La temperatura de salida de los gases T_{sg} que depende del perfil conocido y se encuentra entre 250°C y 600°C .
- El valor de densidad del aire ρ_a propiedad calculada a la temperatura ambiente.
- Los valores de densidad de los gases ρ_g que también tiene un perfil de comportamiento debido a la temperatura variable.
- El valor de la gravedad $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Figura 41. Tiro de la chimenea



Fuente: Autores.

Y se obtiene al final el perfil de flujo de los gases que se encuentra entre 4.3 Kg/s y 5.5 Kg/s.

Para el proceso de cálculo del flujo se tiene la siguiente ecuación que depende de la velocidad de salida y la densidad de los gases así como del área de la chimenea.

$$\dot{m}_g = V_g A_{ch} \rho_g \quad (14)$$

El tiro de la chimenea me garantiza una velocidad a la salida, la cual toma valores diferentes para cada valor de temperatura y determina el comportamiento del flujo másico junto con la densidad de los gases.

Entonces el análisis para la obtención de esta velocidad depende del análisis de presión que se representa en la siguiente ecuación:

$$\Delta P_{ch} \geq E_c + \text{Pérdidas} \quad (15)$$

Dónde:

$$\Delta P_{ch} = (\rho_a - \rho_g)gh \quad (16)$$

Considerando gases ideales a presiones similares entonces:

$$\Delta P_{ch} = \rho_a \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{sg}} \right) gh \quad (17)$$

Y E_c es la energía cinética del gas:

$$E_c = \frac{1}{2} \rho_g V_g^2 \quad (18)$$

Y las pérdidas presentes en la chimenea debido a la fricción del flujo con las paredes.

$$Pérdidas = \frac{V_g^2 f \rho_g L}{2D} \quad (19)$$

La cual representa la ecuación de Darcy para el cálculo de pérdidas en tuberías.

Dónde:

V_g = *Velocidad de los gases*

f = *Coefficiente de rozamiento*

L = *Longitud de tramo recto*

D = *Diámetro hidráulico*

Y despejando la ecuación del análisis de presión de la chimenea se obtiene el valor de velocidad necesario para introducirlo en la ecuación del cálculo del flujo másico.

4. Se calcula el flujo másico del aire necesario para la recuperación de la energía, entonces se realiza un balance de energías entre el calor entregado por los gases calientes y el calor recuperado por el aire:

$$q_g = \dot{m}_g c_{pg} (T_{eg} - T_{sg}) \quad (20)$$

$$q_a = \dot{m}_a c_{pa} (T_{ea} - T_{sa}) \quad (21)$$

Igualando $q_g = q_a$ se obtiene el valor del flujo de aire necesario.

5. Se determina cual es el fluido con la capacidad calorífica mínima C_{min} y cual con la capacidad calorífica máxima C_{max} .

$$C_{min} = (\dot{m}c_p)_{min} \quad (22)$$

$$C_{max} = (\dot{m}c_p)_{max} \quad (23)$$

6. Se determina cual es la diferencia de temperaturas máxima que tomando el análisis de un intercambiador de calor de flujo cruzado de longitud infinita la cual se obtiene entre la diferencia de la temperatura de entrada de los gases y la de entrada del aire:

$$\Delta T_{max} = (T_{eg} - T_{ea}) \quad (24)$$

7. Se calcula la eficiencia del intercambiador de calor

$$\varepsilon = \frac{q_{real}}{q_{max}} \quad (25)$$

Donde q_{real} es el calor entregado por los gases o el recuperado por el aire debido a que se asume que toda la energía almacenada es recuperada.

$$q_{real} = q_g = q_a \quad (26)$$

Y el calor máximo es el producto de la capacidad calorífica mínima C_{min} y la mayor diferencia de temperaturas ΔT_{max}

$$q_{max} = C_{min}\Delta T_{max} \quad (27)$$

8. Se calculan los parámetros adimensionales como el número de Reynolds, Prandtl y Nusselt necesarios para el análisis de transferencia de calor. Se debe tener en cuenta que se trabajan dos fluidos diferentes, gases de combustión y aire, entonces es necesario hacer este procedimiento para cada uno de ellos.

El número de Reynolds:

$$Re = \frac{V_c L_c \rho}{\mu} \quad (28)$$

Donde L_c es la longitud característica dependiente de la geometría del lecho de esferas:

$$L_c = b \left(\frac{\epsilon_v}{1 - \epsilon_v} \right) \quad (29)$$

$b = \text{diámetro de esferas}$

$\epsilon_v = \text{porosidad de la matriz}$

Número de Prandtl:

$$P_r = \frac{\mu c_p}{k} \quad (30)$$

Número de Nusselt*: Una correlación apropiada para el caso de un gas que fluye a través de una matriz de lecho compacto es:

$$N_u = \left(0.5R_e^{\frac{1}{2}} + 0.2R_e^{\frac{2}{3}} \right) P_r^{\frac{1}{3}} \quad (31)$$

Las constantes de esta ecuación se derivan de experimentos realizados con esferas, cilindros cortos y paquetes comerciales usados en procesos de transferencia de masa como. Los efectos de entrada de un lecho compacto son insignificantes así que la ecuación sirve para obtener un número de Nusselt tanto local como promedio.

9. Entonces a partir de los parámetros adimensionales se obtienen los coeficientes de transferencia de calor por convección para cada uno de los fluidos, gases de combustión y aire.

* Correlación experimental para el cálculo del número de Nusselt tomada del libro TRANSFERENCIA DE CALOR de ANTHONY F. MILLS.

$$Nu = \frac{hL_c}{k} \quad (32)$$

10. Una vez determinadas cuales son las capacidades caloríficas mínima y máxima y los coeficientes de transferencia de calor por convección se procede a calcular el número de unidades de transferencia asumiendo un valor de área.

$$NTU_o = \frac{1}{C_{min}} \left[\frac{1}{\frac{1}{h_g A} + \frac{1}{h_a A}} \right] \quad (33)$$

11. Se calcula la relación de capacidades caloríficas C^*

$$C^* = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (34)$$

12. Se define el parámetro de la rata de capacidad calorífica de la matriz C_m , la cual representa el flujo másico virtual del relleno, ya que aunque no fluye, la velocidad de enfriamiento de la matriz se puede considerar como si ésta fluyera a una rata igual a $\frac{M_m}{P_T}$ (kg/s).

$$C_m = \frac{M_m c_{pm}}{P_T} \quad (35)$$

$M_m =$ masa de la matriz o lecho

$P_T =$ periodo de tiempo

13. Se determina un parámetro adimensional C_m^* que relaciona la capacidad calorífica mínima con la rata de capacidad calorífica de la matriz.

$$C_m^* = \frac{C_m}{C_{min}} \quad (36)$$

14. La ecuación para el cálculo de la eficiencia de un regenerador de lecho compacto es:

$$\varepsilon = \varepsilon_{cf} \left[1 - \frac{1}{9(C_m^*)^{1.93}} \right] \quad (37)$$

Dónde:

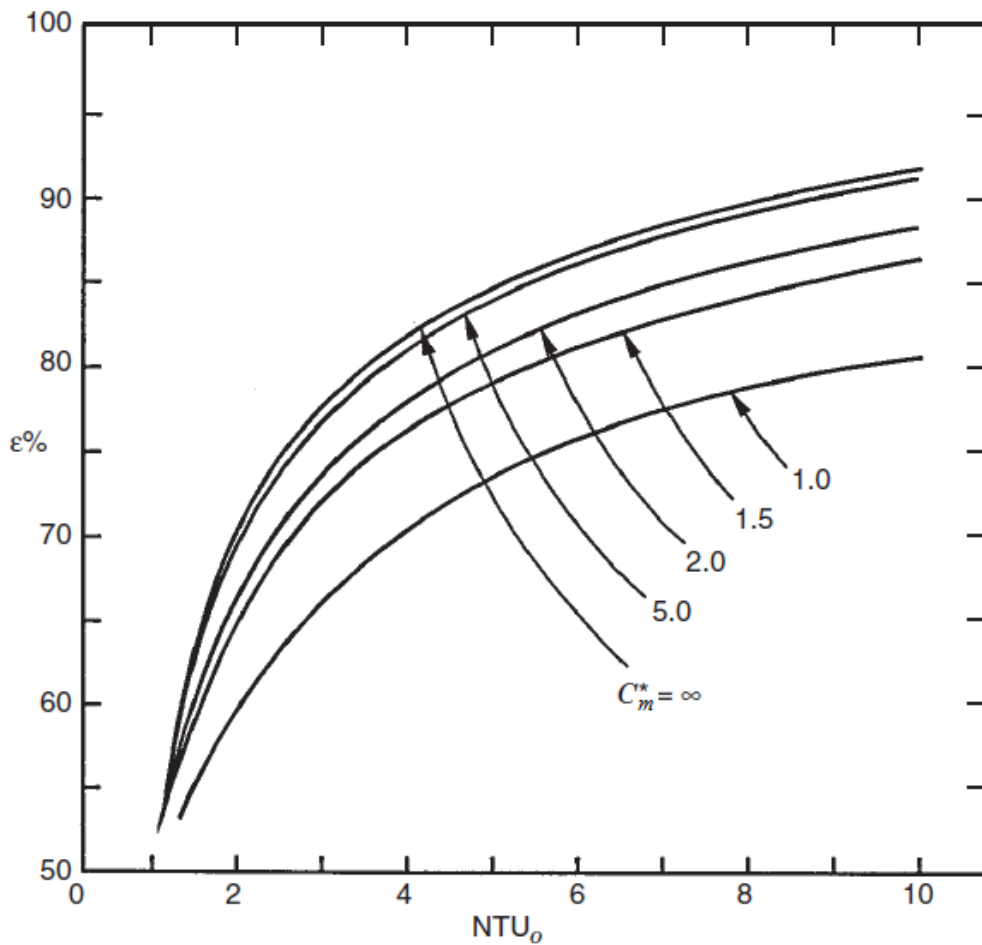
$$\varepsilon_{cf} = \frac{1 - e^{-NTU_o(1-C^*)}}{1 - C^*e^{-NTU_o(1-C^*)}} \quad (38)$$

15. Finalmente se hace una comparación entre las dos efectividades determinadas en el paso 7 y 14 y si estas presentan un rango alto se vuelve a asumir otro valor de área utilizando un proceso iterativo para encontrar el área que cumpla con una diferencia de eficiencias pequeñas, y por consiguiente el área óptima para que se recupere la mayor cantidad de energía.
16. El cálculo del calor almacenado por el regenerador por unidad de tiempo es igual al flujo másico por calor específico promedio del fluido por la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del regenerador.

$$q = \dot{m} * C\bar{P} * \Delta T \quad (39)$$

Después del desarrollado del proceso de diseño térmico se llega a obtención del área óptima necesaria para cumplir con la efectividad máxima descrita en la ecuación 25. Para un mejor análisis es necesario tener en cuenta el comportamiento de la efectividad en función del número de unidades de transferencia NTU_o y el parámetro adimensional C_m^* (ver Figura 42).

Figura 42. ε en función de NTU_o y C_m^* para un regenerador en contraflujo.



Fuente: Fundamentals of heat exchangers design

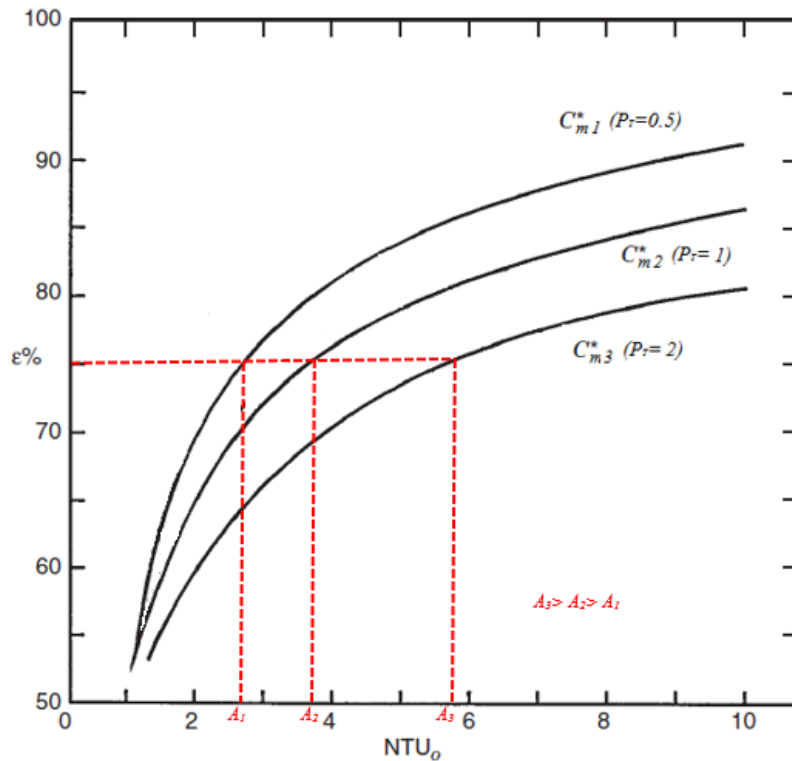
Como se observa en la Figura 42 el comportamiento de la efectividad varía con el parámetro adimensional C_m^* de la matriz, la cual despejando las ecuaciones 35 y 36 se tiene:

$$C_m^* = \frac{M_m * c_{pm}}{P_T * C_{min}} \quad (40)$$

Una consideración importante para tener en cuenta es la variación de la efectividad con el tiempo de ciclo del regenerador P_T , el cual según la Figura 42 al aumentar el periodo la capacidad calorífica de la matriz disminuye y según las ecuaciones 37 y 38 la efectividad también disminuye.

El proceso de diseño es un proceso iterativo en el cual se busca la efectividad máxima del sistema a una temperatura dada variando el área de transferencia de calor, en la Figura 43 se puede observar que el comportamiento del área para una efectividad conocida en diferentes valores de tiempo de ciclo P_T .

Figura 43. Comportamiento del área de transferencia de calor para diferentes periodos de tiempo.



Fuente: Fundamentals of heat exchangers design.

En la Tabla 10 se evidencia que el comportamiento del área aumenta para valores de tiempo de ciclo que también aumentan debido a que el proceso iterativo consiste en aumentar el área en la ecuación 33 de las unidades de transferencia de calor para poder alcanzar la efectividad necesaria.

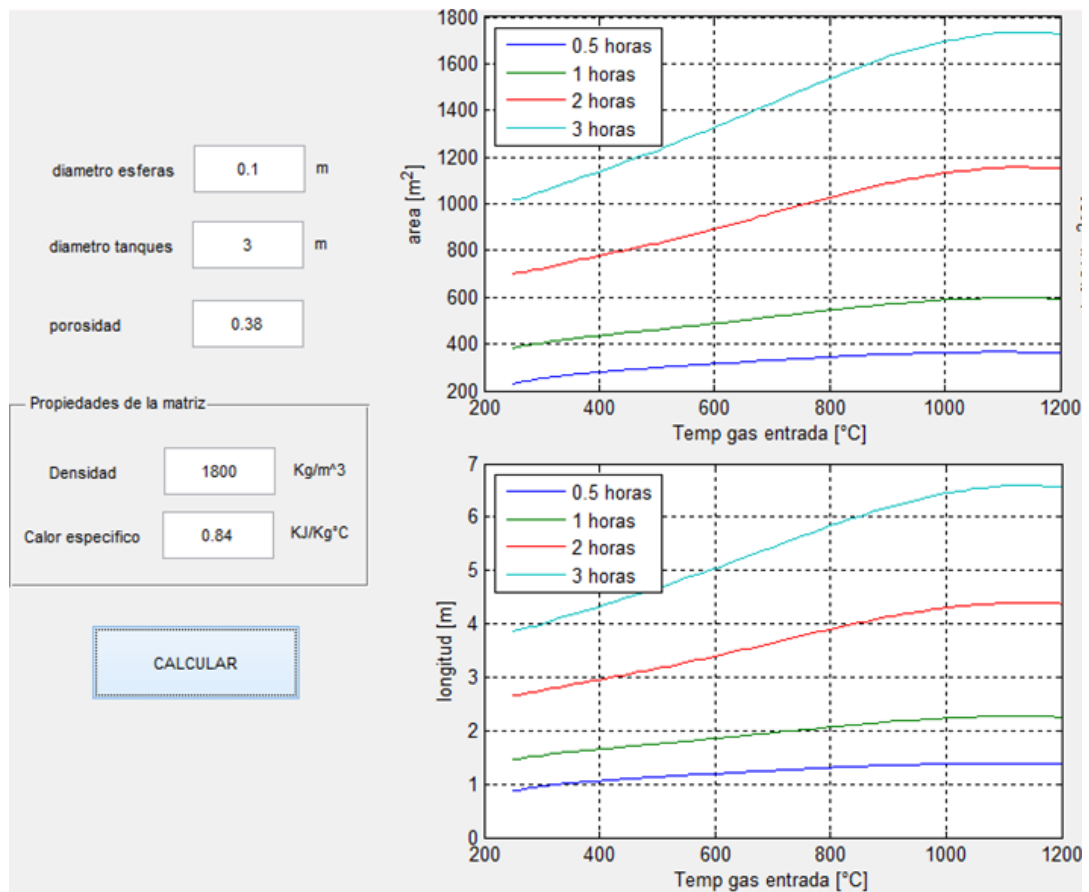
Tabla 10. Comparación del tiempo de ciclo con el área de transferencia de calor.

Efectividad	Tiempo de ciclo P_T	Área de transferencia de calor
ϵ	0.5	A_1
	1	A_2
	2	A_3

Fuente: Autores.

Entonces como resultados se obtiene que para la selección del área de transferencia de calor necesaria para el sistema se presenta el comportamiento de la Figura 44.

Figura 44. Área de transferencia de calor en función de la temperatura y el tiempo de ciclo obtenidas.



Fuente: Autores.

5.2 DISEÑO MECÁNICO DEL REGENERADOR

En esta sección se presenta como será la geometría del sistema de recuperación de calor, determinando las características físicas tanto de los tanques de almacenamiento como también de cómo se podría instalar los sistemas de transporte de los fluidos, que tuberías se podrían utilizar y que accesorios se deben tener en cuenta para el buen funcionamiento del sistema.

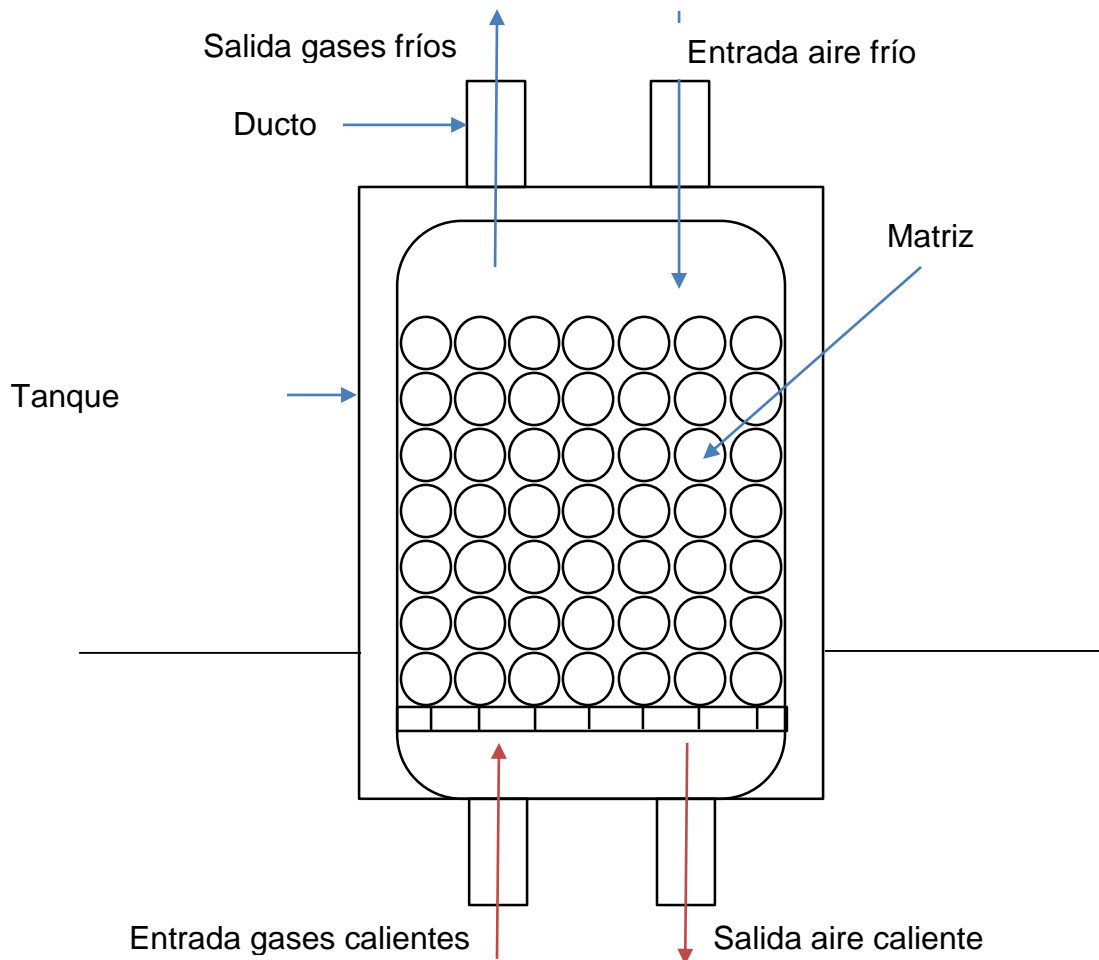
Los tópicos a desarrollar en esta sección son:

- Determinación del lecho de la matriz
 - Material de la matriz
 - Arreglo seleccionado
 - Cálculo de la longitud de la matriz

- Dimensionamiento del tanque almacenador

- Diseño del sistema de impulsión
 - Dimensionamiento y material de los ductos
 - Válvulas
 - Cálculo de pérdidas en el sistema

Figura 45. Regenerador de calor.



Fuente: Autores.

5.2.1 Determinación del lecho de la matriz

- **Material de la matriz**

Existe un sin número de materiales que pueden ser utilizados para almacenar energía térmica según sus propiedades como el calor específico que es una propiedad intensiva que se refiere a la capacidad de un cuerpo para almacenar calor, pero es más preciso tener en cuenta la capacidad calorífica que definida de una forma poco formal es la energía necesaria para aumentar una unidad de

temperatura que además es una propiedad extensiva que depende de la cantidad de masa o material.

Unos de los materiales con mejores propiedades de almacenamiento es el agua pero en nuestro caso necesitamos un material sólido para formar el lecho, se podría pensar en el acero, pero debido a que necesitamos una gran cantidad de material sería muy costoso y tediosa la ubicación de una matriz de ese material, por consiguiente una muy buena opción es la utilización de un material cerámico.

En la Tabla 11 se presenta el calor específico de algunos materiales:

Tabla 11. Calor específico de materiales cerámicos.

MATERIAL	CALOR ESPECIFICO .(J/KG*K)
AGUA	4186
ACERO	460
AIRE	1000
ALUMINIO	909
ARCILLA REFRACTARIA	879
HORMIGON	837
LADRILLO AL CROMO	840
LADRILLO COMUN	840
LADRILLO DE MAGNESITA	1130

Fuente: Autores.

El material seleccionado para el lecho es ladrillo común debido a que es un material económico y fácil de conseguir e incluso que puede ser fabricado ahí mismo en la empresa ahorrando dinero, además tiene unas propiedades adecuadas para el almacenamiento de energía térmica.

Densidad: 1800 Kg/m^3

Calor específico: $0.84 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$

- **Arreglo seleccionado**

Otro factor importante a tener en cuenta al momento del diseño del regenerador es la geometría que debe tener el lecho o matriz debido a que esto afecta tanto al diseño térmico con la variación del área de transferencia de calor como al diseño mecánico variando dimensiones, y más importante afecta el flujo del fluido que atraviesa el lecho.

En la teoría se encuentran diferentes geometrías en las cuales según estudios se han determinado diferentes parámetros como la porosidad necesarios para el análisis de flujo y su consecuente análisis térmico y mecánico.

Proceso de selección del arreglo:

1. Se selecciona un lecho de esferas debido a que es el arreglo mas común y fácil de conseguir.
2. Se asume un diametro de esferas b
3. Se determina el valor de la porosidad del arreglo según la Tabla 12 en $\epsilon_v = 0.38$
4. Se debe tener en cuenta el delta de presión generado por este lecho de esferas para efectos posteriores de cálculo del sistema de transporte de fluidos que se realiza mediante la ecuación de Ergun:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150\mu\vartheta}{L_c^2} + \frac{1.75\rho\vartheta^2}{L_c} \quad (41)$$

La velocidad característica está representada por ϑ :

$$\vartheta = \frac{\dot{m}}{\rho\epsilon_v A_c} \quad (42)$$

La longitud característica está representado por L_c :

$$L_c = b \left(\frac{\epsilon_v}{1 - \epsilon_v} \right) \quad (43)$$

5. El proceso de selección del diámetro de las esferas es un proceso iterativo el cual al variarlo afecta el área de transferencia de calor, la temperatura a la salida del regenerador, el diferencial de presión en el lecho y las dimensiones de la matriz.
6. Luego del proceso iterativo se llega a la decisión de que el diámetro de las esferas es $b = 0.1 \text{ m}$

Tabla 12. Propiedades geométricas de la matriz.

	cell density $N_c \text{ cells}/\text{in}^2$	porosity $p_{or} \text{ —}$	area density $\beta \text{ 1/m}$	hydraulic radius $r_h \text{ m}$
	-	0.37 - 0.39	$\frac{6(1-p_{or})}{b}$	$\frac{b(p_{or})}{6(1-p_{or})}$
	$\frac{1}{(b+\delta)^2}$	$\frac{b^2}{(b+\delta)^2}$	$\frac{4b}{(b+\delta)^2}$	$\frac{b}{4}$
	$\frac{2}{\sqrt{3}(b+\delta)^2}$	$\frac{b^2}{(b+\delta)^2}$	$\frac{4b}{(b+\delta)^2}$	$\frac{b}{4}$
	$\frac{2}{\sqrt{3}(b+\delta)^2}$	$\frac{\pi b^2}{2\sqrt{3}(b+\delta)^2}$	$\frac{2\pi b}{\sqrt{3}(b+\delta)^2}$	$\frac{b}{4}$
	$\frac{1}{(b+\delta)(b+\delta)}$	$\frac{b^2/6}{(b+\delta)(b+\delta)}$	$\frac{7b/3}{(b+\delta)(b+\delta)}$	$\frac{b}{14}$
	$\frac{4\sqrt{3}}{(2b+3\delta)^2}$	$\frac{4b^2}{(2b+3\delta)^2}$	$\frac{24b}{(2b+3\delta)^2}$	$\frac{b}{6}$

Fuente: Heat exchanger design handbook. T. Kuppan

En la Tabla 12 se presentan ciertos parametros como densidad de celda, porosidad, densidad de área y radio hidráulico para cada uno de los arreglos presentes, los cuales son importantes como fundamento hidráulico para el diseño termico y el calculo de el area de tranferencia de calor.

- **Longitud calculada de la matriz**

Una vez seleccionado el arreglo a utilizar se calcula la densidad de area:

$$\beta = 6 * \frac{(1 - \epsilon_v)}{b} \quad (44)$$

Y la longitud de la matriz se determina por:

$$L_{matriz} = \frac{A_{TC}}{(A_C * \beta)} \quad (45)$$

Donde:

A_{TC} = *area de transferencia de calor*

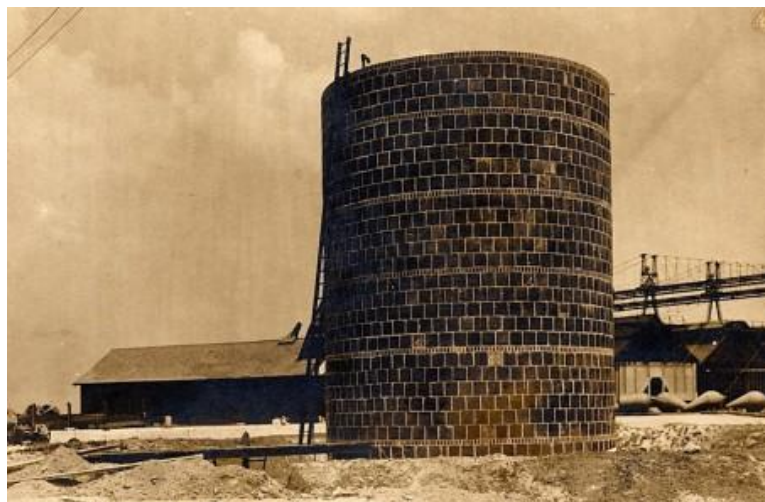
A_C = *area transversal de la matriz*

5.2.2 Generalidades del tanque almacenador

La necesidad principal de los tanques es la capacidad de recibir en su interior un lecho compacto de esferas de una altura determinada la cual va a almacenar la energía térmica para luego ser recuperada, lo que representa que cada tanque debe tener un paso para los gases y otro para el aire de recuperación. Inicialmente se había pensado en simplemente una entrada y una salida para cada tanque y que el flujo se controlara con válvulas para así reducir costos pero aún seguía siendo costoso por lo que se decidió utilizar los ductos subterráneos ya instalados en la empresa.

El diseño del tanque se desarrolló pensando en que éste sin ningún problema pudiera albergar dentro de si el lecho entonces se llegó a la conclusión de construirlo con muros de mampostería como se observa en la Figura 46 con bases en concreto reforzado y además enterrarlo unos metros para ayudar a soportar las fuerzas que aunque transversalmente son despreciables debido a que es una carga estática se debe tener en cuenta.

Figura 46. Tanque almacenador del regenerador.



Fuente: <http://tectonicablog.com/?p=58665>.

Los regeneradores deben funcionar de tal manera que se recupere aire continuamente a los secaderos, entonces por eso se disponen de dos tanques cada uno con un paso de los gases y una recuperación de aire, es decir cada tanque presenta dos entradas y dos salidas.

Figura 47. Tanque almacenador



Fuente: Autores.

5.2.3 Diseño del sistema de impulsión

- **Dimensionamiento y material de los ductos**

La tubería necesaria para el paso de los gases de combustión de los hornos debe tener unas propiedades especiales debido a que estos gases pueden alcanzar unas temperaturas altas llegando aproximadamente a unos 600 °C y además contienen material particulado producto de la combustión que puede generar corrosión y desgastar rápidamente la tubería, entonces el material de acero para altas temperaturas deben cumplir con estrictos requisitos en cuanto a sus propiedades de resistencia, corrosión y creep, además de estabilidad térmica durante el servicio.

En el mercado se encuentran una amplia gama de tubería para estas aplicaciones de diferentes aleaciones de aceros al carbono manganeso y cromo molibdeno con condiciones optimizadas de tratamientos térmicos, para garantizar óptima resistencia de largo plazo al creep.

De acuerdo a la norma ASTM la tubería de acero al carbono que se puede utilizar es la A106 para la tubería de descarga de los gases y de recuperación del aire que son tuberías de acero al carbono para servicio a alta temperatura la cual se puede trabajar hasta 425°C, esta se encuentra en diferentes diámetros nominales desde 1/8 hasta 48 pulgadas con diferentes espesores. Pero para la tubería que va a transportar los gases de combustión producto de los hornos colmena es posible que tenga que soportar temperaturas mayores a los 425°C y si seleccionara ésta entonces se produciría la conversión del carbono en grafito (grafitización) por consiguiente se debe utilizar una tubería de acero de aleación.

Por tanto la tubería apropiada para este tramo es según la norma ASTM la A335 tubos sin soldadura en aceros aleados para uso a temperaturas elevadas grado GR P22 que puede trabajar hasta una temperatura de 600°C. Bueno esa sería una opción, la de utilizar toda la tubería de acero y colocando las respectivas válvulas para el control del flujo pero después de realizar algunas cotizaciones y estudios económicos el hecho de utilizarla acarrearía un costo muy elevado para la implementación. Entonces se llegó a la conclusión de trabajar y utilizar los ductos subterráneos de ladrillo que la empresa estaba utilizando, e igualmente utilizando el sistema de compuertas que se está utilizando actualmente disminuyendo así el uso de válvulas.

Entonces la única parte donde se utiliza tubería de acero es a la salida de los gases la cual lleva a la turbina que conecta con la chimenea.

Se seleccionó una tubería de diámetro nominal de 20 pulgadas cédula 10, es decir un espesor de 0.25 pulgadas como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Dimensiones de Tuberías comerciales.

Diámetro Nominal NPS DN		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación	
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule
14	350	14.000	355,6	0.250	6.35	-	10
				0.281	7.14	-	-
				0.312	7.92	-	20
				0.344	8.74	-	-
				0.375	9.52	STD	30
				0.438	11.13	-	40
				0.469	11.91	-	-
				0.500	12.70	XS	-

20	500	20.000	508.0	0.250	6.35	-	10
				0.281	7.14	-	-
				0.312	7.92	-	-
				0.344	8.74	-	-
				0.375	9.52	STD	20
				0.406	10.31		-
				0.438	11.13	-	-
				0.469	11.91	-	-
				0.500	12.70	XS	30

Fuente: www.vemacero.com

La distribución de la tubería para los regeneradores se selecciona de acuerdo a la necesidad de obtener un flujo de los gases de combustión lo más uniforme posible para que toda el área de transferencia de calor tenga contacto con estos gases y el almacenamiento de energía sea el más óptimo. Debido a que el diámetro de los regeneradores es considerable, entonces como los ductos de entrada son subterráneos el ingreso sería uniforme ocupando toda el área del tanque desde la base.

- **Válvulas**

Como anteriormente se mencionó que se debe garantizar que el aire de recuperación sea continuo entonces se deben tener válvulas que permitan controlar el paso de los fluidos.

Teniendo en cuenta los requerimientos de la empresa en cuanto a costos y los requerimientos de operación de que las válvulas en ciertos momentos deben soportar altas temperaturas se llegó a la conclusión de utilizar válvulas de mariposa de dos vías en los ductos que llevan los gases hacia la chimenea.

Las válvulas de mariposa son muy versátiles pues tienen una gran capacidad de adaptación a la industria y se pueden encontrar de diferentes tamaños, pueden soportar grandes presiones y temperaturas extremas y a un precio relativamente bajo.

Figura 48. Válvula mariposa.



Fuente: www.valvulasjola.com

Además su funcionamiento es muy sencillo pues solo requiere de una rotación de 90° del disco para abrirla por completo obteniendo una operación rápida. También el poco desgaste del eje, poca fricción y por tanto un menor para el actuador puede ser manual o incluso oleo-hidráulico o motorizado eléctricamente con posibilidad de automatización.

La geometría de la válvula de mariposa es muy sencilla, compacta y de revolución por lo que es una válvula barata de fabricar tanto por el ahorro de material como en el mecanizado. El menor espacio que ocupan y el menor peso facilita su montaje

en la instalación haciéndolas atractivas en grandes tamaños respecto a otro tipo de válvulas.

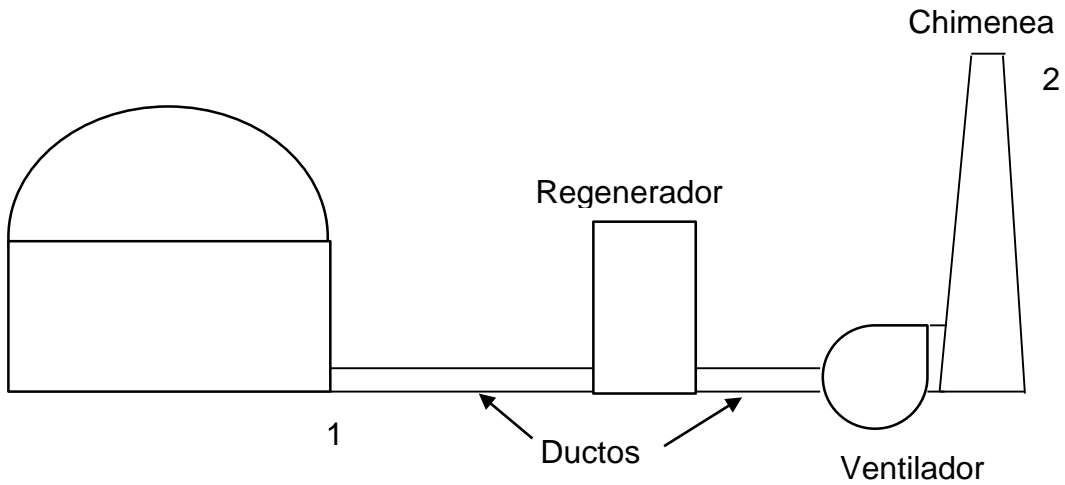
Las válvulas de mariposa están preparadas para admitir cualquier tipo de fluido gas, líquido y hasta sólidos, y a diferencia de otro tipo de válvulas no hay cavidades donde pueda acumularse sólidos impidiendo la maniobrabilidad de la misma.

- **Cálculo de pérdidas en el sistema**

En la empresa se encuentra instalado un sistema de impulsión con el cual actualmente llevan los gases calientes directamente del periodo de enfriamiento de los hornos hacia los secaderos, y con la implementación del sistema de recuperación por medio de los regeneradores es necesario la instalación de un nuevo sistema de impulsión para llevar los gases de nuevo a la chimenea. Ya conocida la distribución de las tuberías y sus dimensiones se procede al cálculo necesario del diferencial de presión que debe vencer este sistema de impulsión.

SISTEMA DE IMPULSIÓN DE LOS GASES: Como ya se ha mencionado varias veces es necesario mantener la operación actual de los hornos, entonces al momento de instalar el sistema de recuperación de energía se debe garantizar que el flujo másico permanezca igual para no afectar la cocción del producto. La instalación de los regeneradores implica un aumento en el diferencial de presión debido a un mayor número de ductos y el hecho de atravesar un lecho compacto. En la Figura 49 se presenta un esquema del circuito de pérdidas de los gases.

Figura 49. Esquema del circuito de pérdidas del sistema.



Fuente: Autores.

Aplicando la ley de la conservación de la energía o teorema de Bernoulli al flujo de un fluido en una tubería se puede conocer la energía en el punto que se desee, es este caso es necesario saber cuál es la energía necesaria para llevar el fluido desde la salida del horno hasta el final de la chimenea, que haciendo el balance es:

$$z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{g\rho_g} + H_{req} = z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{g\rho_g} + H_{per} - \frac{\Delta P_{ch}}{g\rho_g} \quad (46)$$

Donde:

z_1 = altura de referencia $z_1 = 0$

V_1 = velocidad de los gases en el horno, considerada despreciable

P_1 = presión atmosférica

H_{req} = altura requerida en metros de columna de aire

z_2 = altura de la chimenea

V_2 = velocidad de los gases a la salida de la chimenea

P_2 = presión atmosférica

ΔP_{ch} = diferencial de presión generado por la chimenea

H_{per} = pérdidas de presión en la tuberías, accesorios y el regenerador

La diferencia de presión que debe vencer la turbina que lleva los gases hacia la chimenea se representa con la ecuación anterior y las pérdidas de presión necesarias para la selección de la turbina son:

$$H_{per} = H_{tub} + H_{reg} + H_{acc} \quad (47)$$

Donde:

H_{tub} = caída de presión en los ductos o tuberías

H_{reg} = caída de presión en el regenerador

H_{acc} = caída de presión por los accesorios en el sistema de tuberías

CAÍDA DE PRESIÓN EN TUBERÍAS: El flujo de fluidos en tuberías siempre va acompañado de rozamiento de las partículas de fluido entre si y la ecuación que rige este comportamiento es la ecuación de Darcy y sus unidades son en metros del fluido aunque también puede expresarse en unidades de pascales haciendo la respectiva conversión.

La ecuación de Darcy es válida tanto para flujo laminar como para turbulento y se expresa de la siguiente forma:

$$\Delta P = \frac{fLV^2}{2Dg} \quad (48)$$

La pérdida de carga representa la altura adicional que el fluido necesita para elevarse en este caso por medio de una turbina. Esta fórmula puede deducirse por análisis dimensional con la excepción del factor de fricción f el cual depende del número de Reynolds dependiendo si es laminar o turbulento, entonces para el flujo en estado laminar totalmente desarrollado es decir $Re \leq 2300$ este factor es:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (49)$$

Pero para el caso de que el fluido se encuentre en estado turbulento totalmente desarrollado es decir para $Re \geq 4000$ depende del numero de Reynolds y la rugosidad relativa, por lo tanto se han encontrado una serie de correlaciones mediante experimentaciones con las cuales se puede determinar este factor, una de ellas la cual se utilizó en este caso es la ecuación de Colebrook.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (50)$$

CAÍDA DE PRESIÓN EN EL REGENERADOR: La caída de presión de un lecho compacto se puede obtener a partir de la ecuación de Ergun:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150\mu\vartheta}{L_c^2} + \frac{1.75\rho\vartheta^2}{L_c} \quad (51)$$

El primer término de la ecuación está asociado al arrastre viscoso y el segundo al arrastre de forma y las constantes se basan en datos experimentales correspondientes a muchas formas de partículas, pero la ecuación es más precisa cuando éstas son esféricas.

La velocidad característica está representada por ϑ :

$$\vartheta = \frac{\dot{m}}{\rho\epsilon_v A_c} \quad (52)$$

Donde:

\dot{m} = flujo másico

ρ = densidad del fluido

ϵ_v = porosidad del lecho

A_c = área de la sección transversal del lecho

La longitud característica está representado por L_c :

$$L_c = d_p \left(\frac{\epsilon_v}{1 - \epsilon_v} \right) \quad (53)$$

Donde d_p es el diámetro de las esferas del lecho.

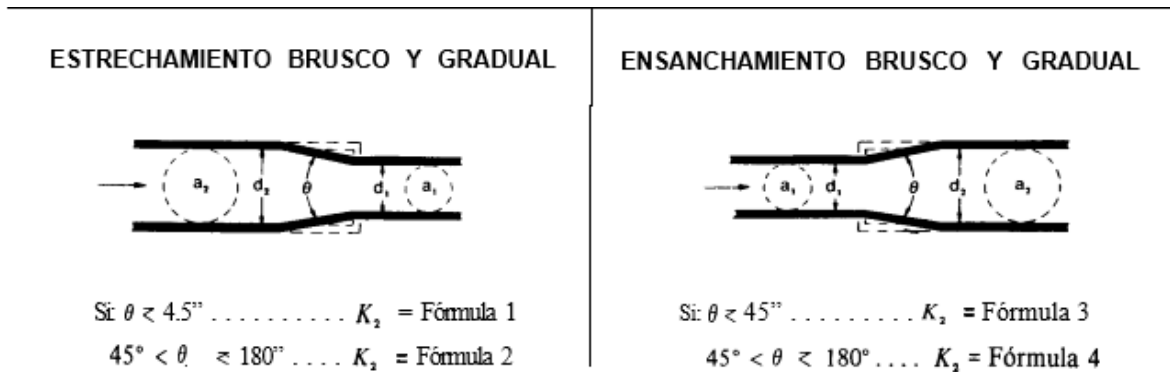
CAÍDA DE PRESIÓN POR ACCESORIOS: Los accesorios de tuberías y las válvulas también perturban el flujo normal en una tubería y causan perdidas por fricción adicionales. Estas pérdidas de energía son proporcionales a la cabeza de velocidad del fluido al fluir por los accesorios ya sean codos o un reductor y demás incluyendo las válvulas. Los valores experimentales de pérdidas de energía generalmente se reportan en términos de un coeficiente de resistencia K, de la siguiente forma:

$$H_{acc} = K \frac{V^2}{2g} \quad (54)$$

El coeficiente de resistencia no tiene unidades, ya que representa una constante de proporcionalidad entre la pérdida de energía y la cabeza de velocidad. La magnitud del coeficiente de resistencia depende de la geometría del dispositivo que ocasiona la pérdida.

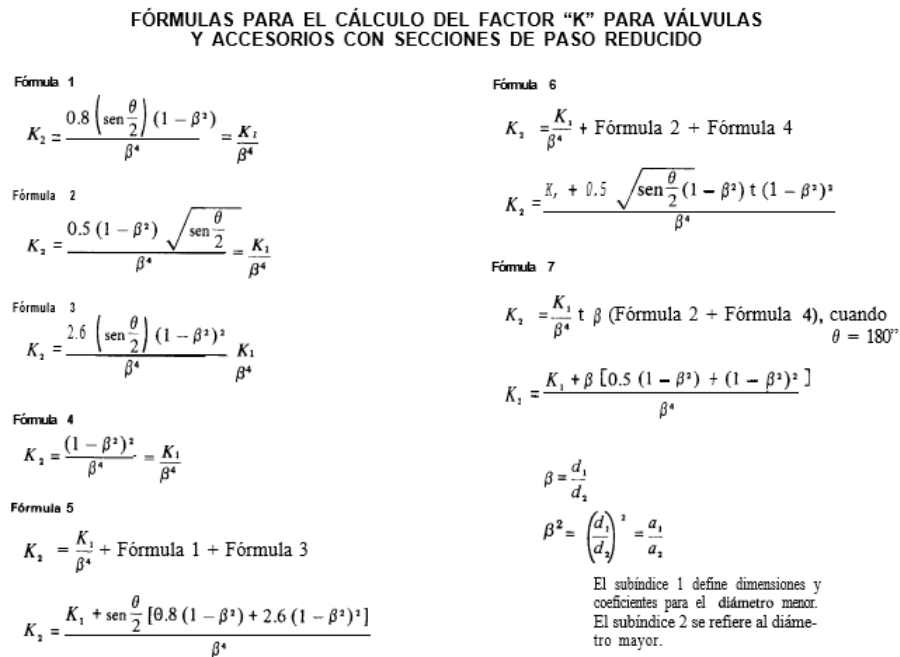
En la Figura 50 y Figura 51 se presentan algunas de las correlaciones para calcular el coeficiente de resistencia para accesorios con paso reducido.

Figura 50. Cálculo del factor K con secciones de paso reducido.



Fuente: Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.

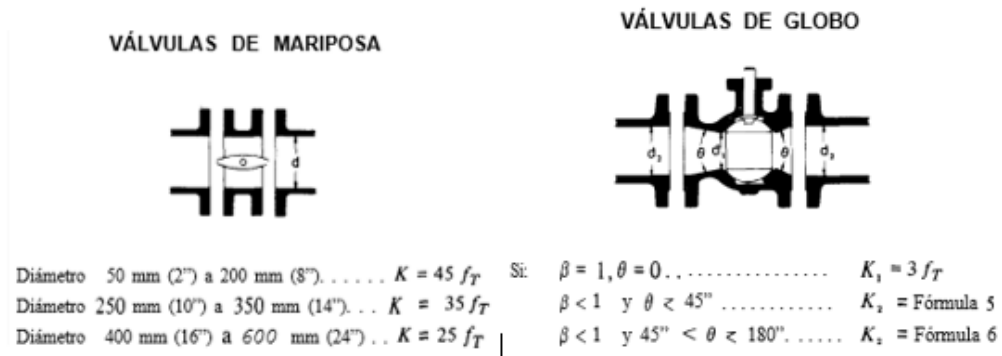
Figura 51. Cálculo del factor K para válvulas y accesorios.



Fuente: Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.

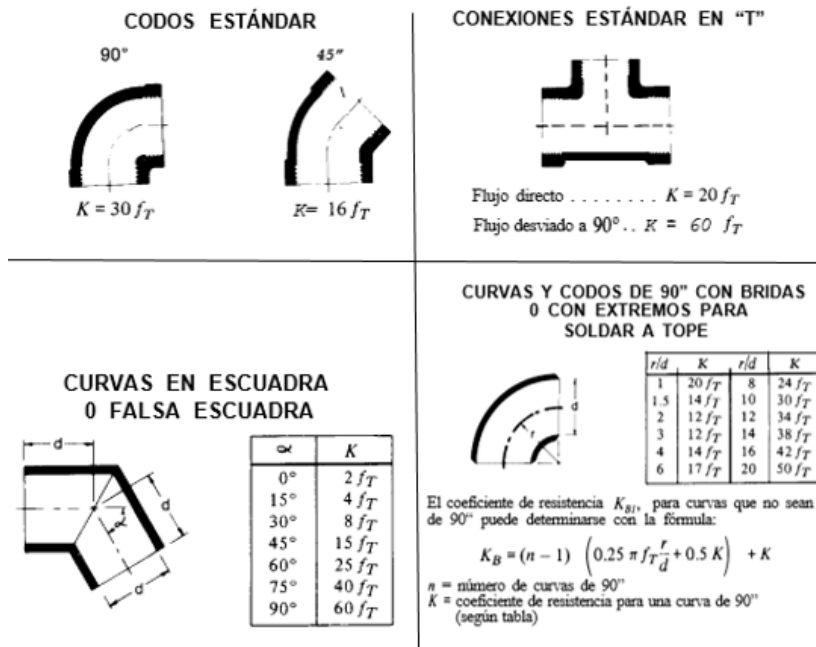
En la Figura 52 y Figura 53 se presentan los valores del coeficiente de resistencia para algunas válvulas y accesorios.

Figura 52. Calculo del coeficiente K para algunas válvulas.



Fuente: Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.

Figura 53. Calculo de coeficiente K para accesorios.



Fuente: Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.

6. DISEÑO DEFINITIVO

6.1 ANALISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos y las decisiones finales para la propuesta del sistema recuperador de energía que de acuerdo a las necesidades que se tenían se muestran de la siguiente manera:

- Cálculo del área de transferencia de calor
- Cálculo de la altura de la matriz
- Comportamiento del sistema regenerador de calor en función del tiempo
 - Comportamiento de los gases a la salida del regenerador
 - Comportamiento del aire a la salida del regenerador
 - Comportamiento del flujo másico
- Cálculo del calor recuperado
- Determinación del sistema de impulsión
- Dimensionamiento del tanque almacenador

6.1.1 Cálculo del área de transferencia de calor

Inicialmente lo primero que se desea obtener es el área de transferencia de calor óptima para cada valor de la temperatura de entrada de los gases conociendo que:

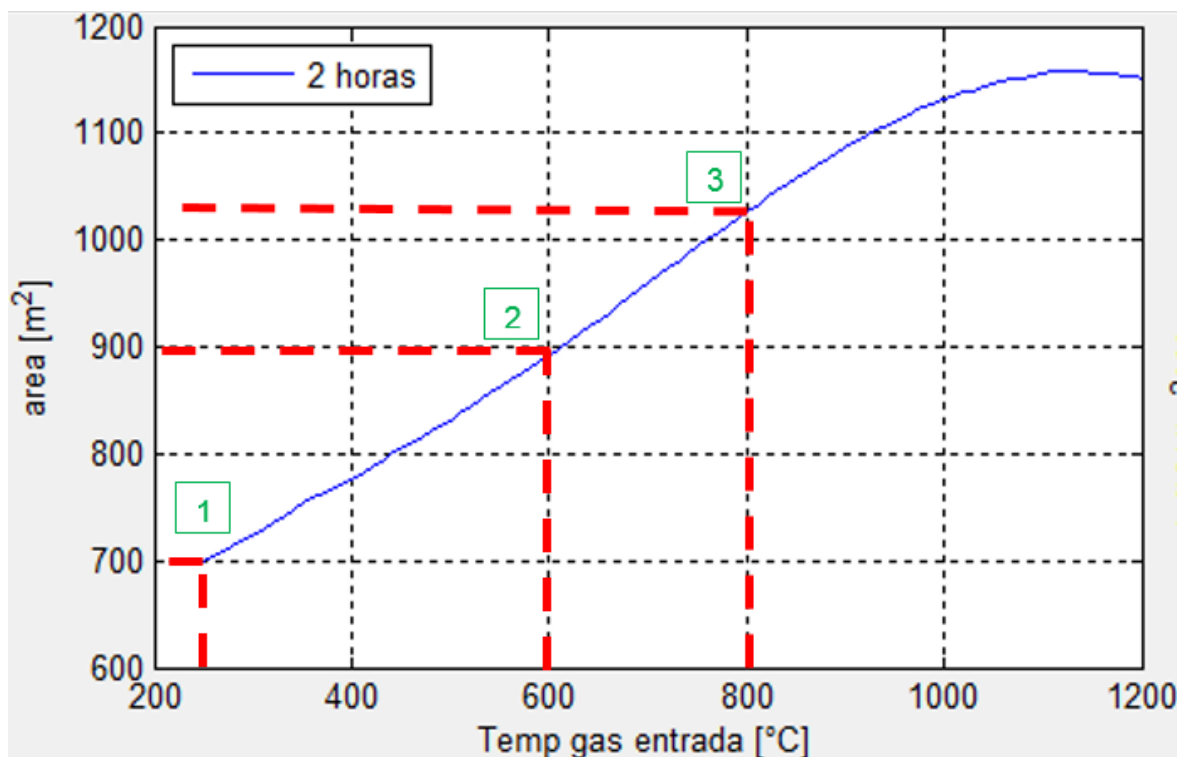
- El valor máximo que se podría alcanzar es de 600 °C
- El tiempo de operación total es de 2 horas, una hora de calentamiento y la otra de enfriamiento.

Para esto se realizó la metodología del diseño térmico enunciado en la sección 5.1.1.

Con el modelado de las ecuaciones en Matlab se obtiene una gráfica (ver Figura 54) con la cual se obtiene el objetivo específico:

- Obtener el área de transferencia de calor óptima para cada valor de temperatura para que el lecho almacene toda la máxima energía posible es decir que tenga la efectividad máxima.

Figura 54. Área de transferencia de calor óptima para cada valor de Temperatura de entrada de los gases para un tiempo de operación del sistema de 2 horas.



Fuente: Autores.

Se muestran tres punto ejemplo en los cuales los cuales los resultados obtenidos son:

Tabla 14. Resultados de áreas de transferencia de calor para algunos valores de temperatura

	Temperatura [°C]	Área de transferencia de calor [m ²]
Punto 1	250	700
Punto 2	600	900
Punto 3	800	1300

Fuente: Autores

Como resultado para el diseño se tiene que la temperatura del sistema alcanza 600°C y para obtener la mayor cantidad de energía almacenada se debe construir con un area de transferencia de calor de:

Área seleccionada: Aproximadamente 900 m².

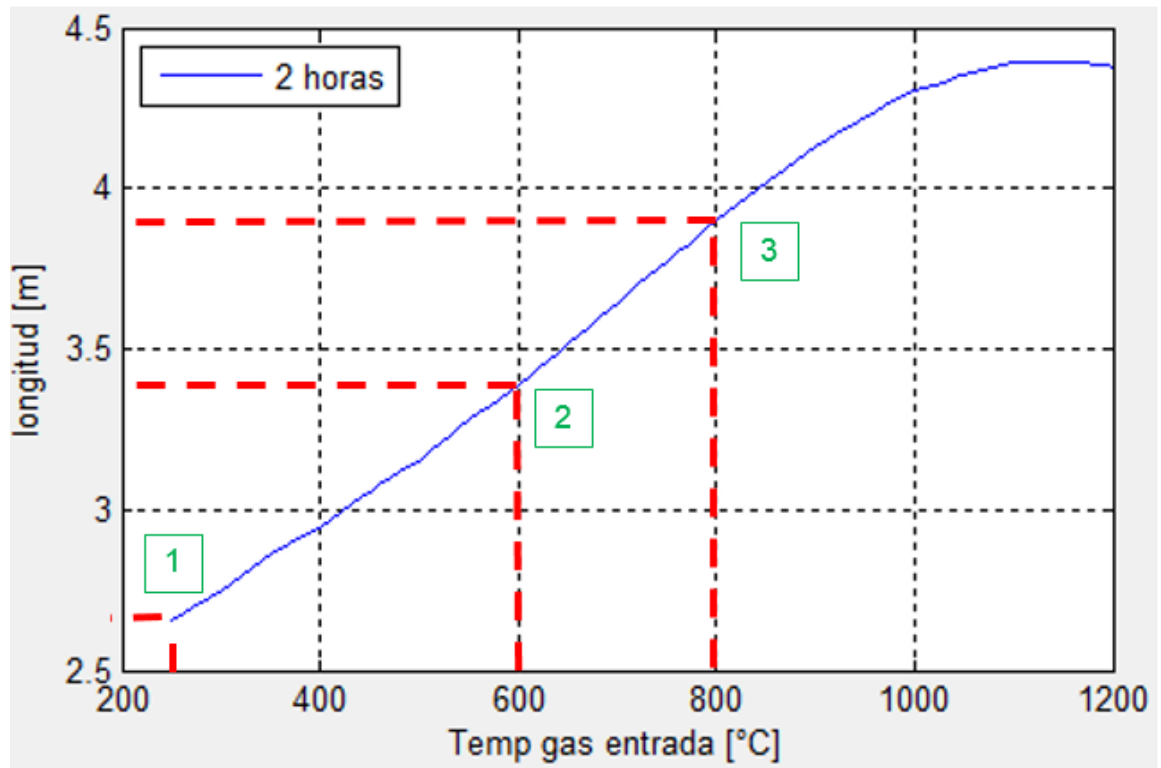
6.1.2 Cálculo de la altura de la matriz

Con el área de transferencia de calor seleccionada se puede definir las dimensiones requeridas, conociendo parámetros como:

- Área de transferencia de calor: 900 m² obtenida a una temperatura de 600°C
- Diámetro interno del tanque: 3 m (Área transversal: 7.068 m²)

Con los cuales se puede obtener la altura necesaria del lecho (ver Figura 55).

Figura 55. Altura del lecho del regenerador para cada valor de temperatura.



Fuente: Autores

En la Figura 55 se muestran tres puntos ejemplo de los cuales los resultados son:

Tabla 15. Resultados de la longitud de la matriz para algunos valores de temperatura.

	Temperatura [°C]	Longitud de la matriz [m]
Punto 1	250	2.7
Punto 2	600	3.4
Punto 3	800	3.9

Fuente: Autores

Como se observa haciendo una relación entre las Tabla 14 y Tabla 15 el comportamiento de la longitud aumenta cada vez que aumenta el área debido a la ecuación 55.

$$L_{matriz} = \frac{\text{Área de transferencia de calor}}{\text{área transversal} * \beta} \quad (55)$$

Como resultado para el diseño se obtiene una altura del lecho de aproximadamente de 3.4 m de altura.

Altura de la matriz: 3.4 m

Como conclusión para los parámetros definidos de diseño se obtuvieron los siguientes valores:

- Área de transferencia de calor: 900 m²
- Longitud del lecho: 3.4 m

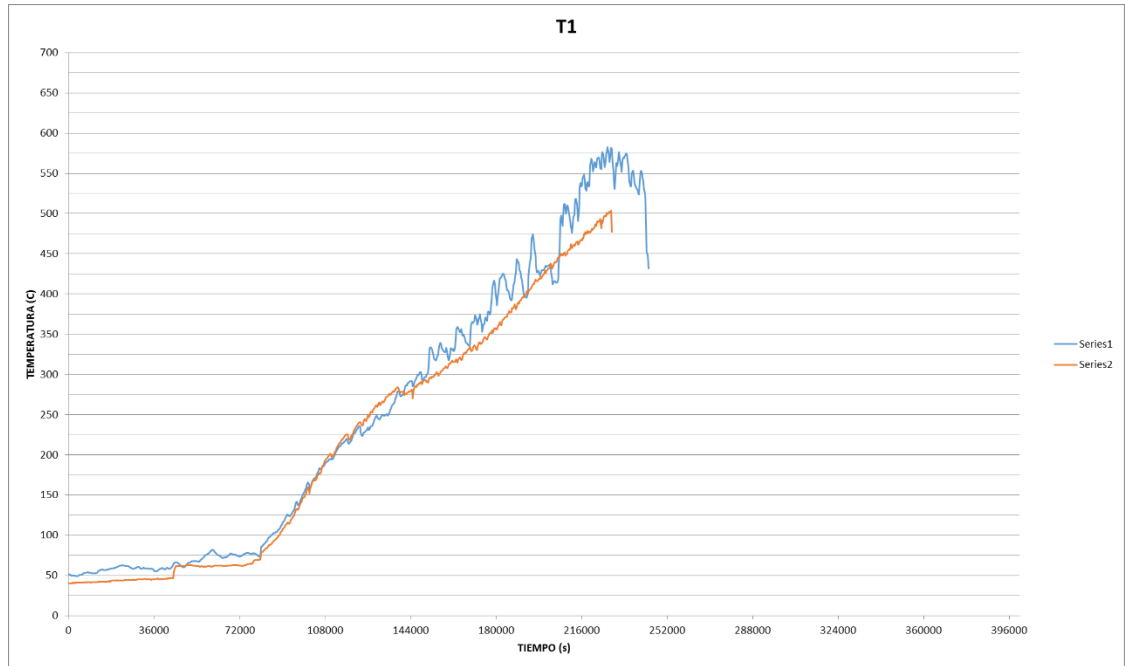
6.1.3 Sistema de regeneración de calor en función del tiempo

Posteriormente luego de obtener el valor del área de área de transferencia de calor, éste se toma como un valor constante dentro del mismo análisis y se observa la variación de los demás parámetros. Debido a que el análisis realizado se basa en un perfil variable de temperatura que fue obtenido en mediciones realizadas en la empresa (ver Figura 56) los resultados obtenidos también presentan una variación en el comportamiento. Los parámetros que presentan una variación son:

- Temperatura de entrada de los gases $250^{\circ}C \leq T_{eg} \leq 600^{\circ}C$
- Temperatura de salida de los gases $50^{\circ}C \leq T_{sg} \leq 100^{\circ}C$ (ver Figura 57)
- Temperatura de salida de aire $130^{\circ}C \leq T_{sa} \leq 430^{\circ}C$ (ver Figura 58)

- Flujo másico de los gases $4.3 \frac{Kg}{s} \leq \dot{m}_g \leq 5.5 \frac{Kg}{s}$ (ver Figura 59)
- Calor almacenado $600 KW \leq q \leq 2200 KW$

Figura 56. Variación de la temperatura de los gases en la chimenea en el tiempo.



Fuente: Autores.

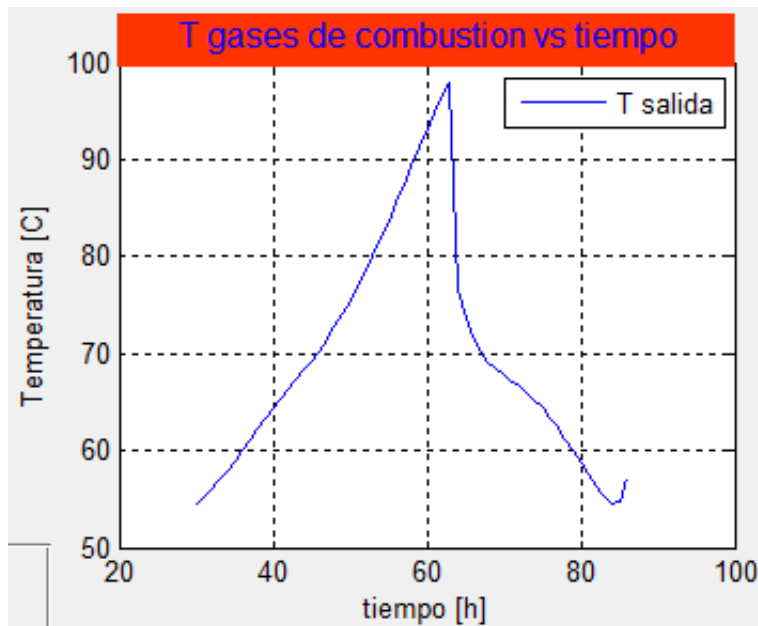
En la Figura 56 se muestra como es el comportamiento en función del tiempo de las temperaturas en donde la serie 1 representa la temperatura a la salida del horno y la serie 2 la temperatura a la entrada de la chimenea y pertenece a los valores en el proceso de quema plena, colocando como referencia unas temperaturas máximas de 550 y 500°C respectivamente.

Para realizar el análisis se presenta el comportamiento en el tiempo mediante unas gráficas obtenidas con el programa en Matlab de los siguientes parámetros:

- Temperatura de los gases a la salida del regenerador

- Temperatura del aire a la salida del regenerador
- Flujo másico de los gases
- **Comportamiento de la temperatura de los gases a la salida del regenerador**

Figura 57. Temperatura de los gases a la salida del regenerador en función del tiempo.

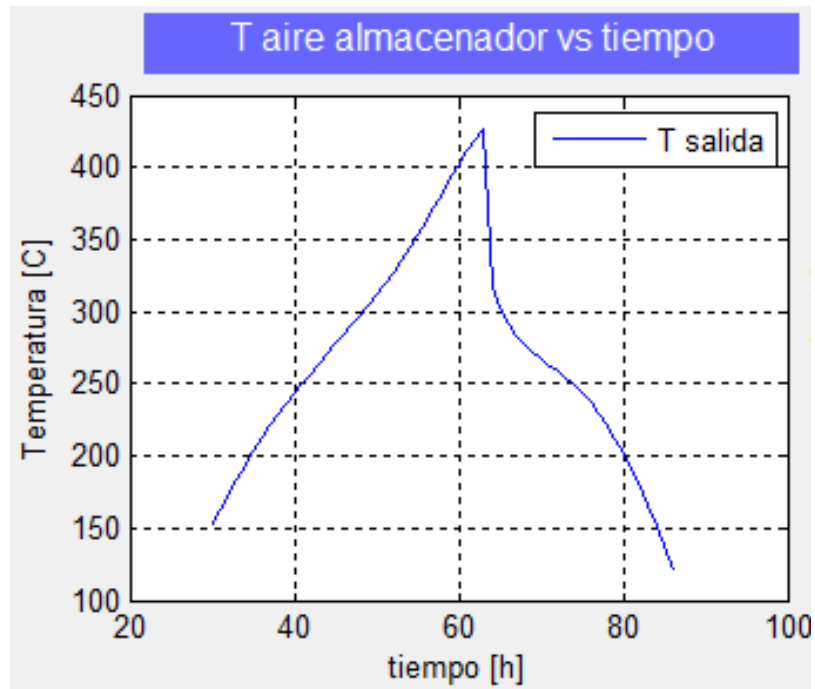


Fuente: Autores.

El comportamiento de la temperatura de salida de los gases de combustión evidencia un rango de trabajo entre 55°C y 98°C, el cual cumple con el requisito necesario de una temperatura máxima de 250°C.

- **Comportamiento de la temperatura del aire a la salida del regenerador**

Figura 58. Temperatura del aire a la salida del regenerador en función del tiempo.



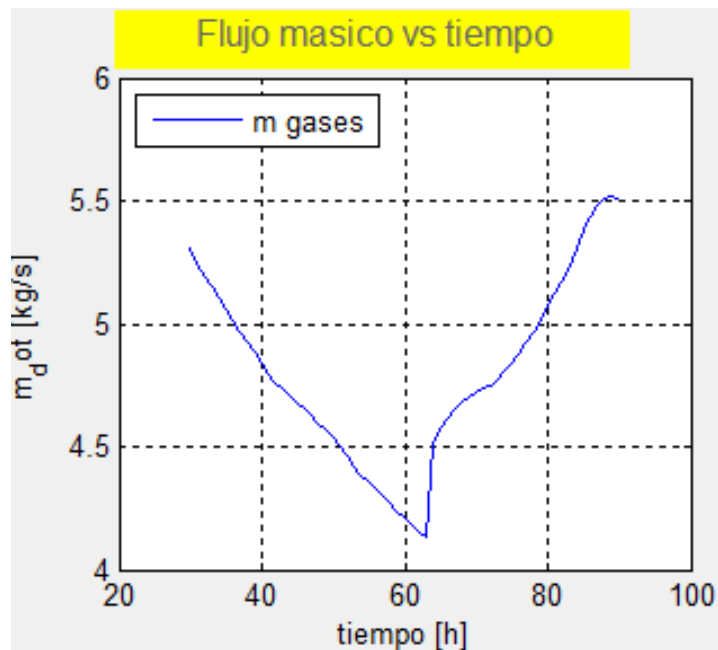
Fuente: Autores.

El comportamiento de temperatura del aire presenta un rango entre 150°C y 420°C el cual cumple con el objetivo propuesto de obtener valores entre 40 y 100°C y garantiza que a los secaderos llegue el valor adecuado. Como se alcanzan aproximadamente 420°C en el punto máximo de temperatura se necesita de una mezcla antes de ingresar a los secaderos para garantizar el rango de temperatura establecido y no producir agrietamientos en el producto.

- **Comportamiento del flujo másico**

Como se dedujo anteriormente el flujo másico es obtenido por el tiro natural de la chimenea y está en función de la temperatura, y como durante el proceso de los hornos la temperatura en la chimenea varía entonces se observa un comportamiento del flujo en función del tiempo como se muestra en la Figura 59.

Figura 59. Flujo másico en función del tiempo.



Fuente: Autores.

El comportamiento del flujo másico de los gases representa el rango de valores ya estipulado entre 4.3 y 5.5 Kg/s y presenta esa tendencia debido a que la densidad de los gases disminuye a mayor temperatura.

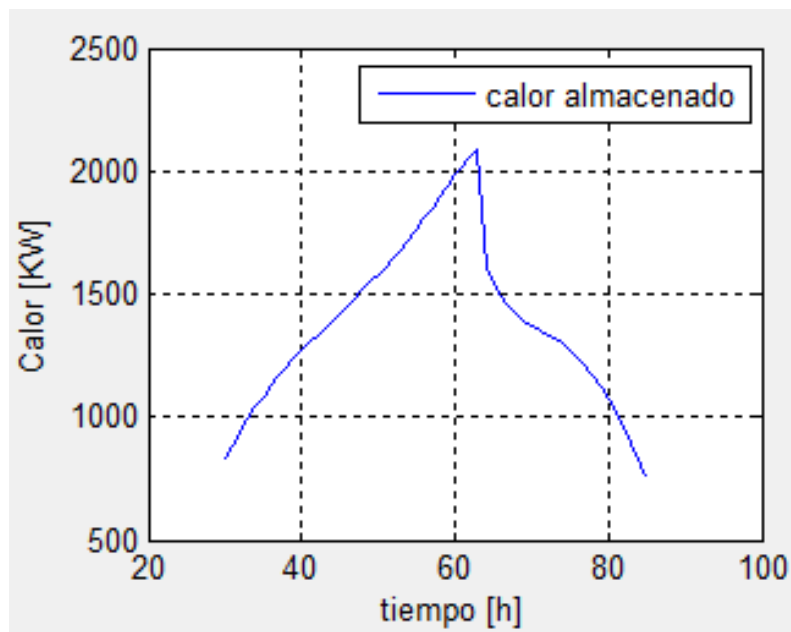
6.1.4 Cálculo del calor recuperado

Teniendo en cuenta que el calor almacenado por el regenerador por unidad de tiempo es igual al flujo másico por calor específico promedio del fluido por la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del regenerador tenemos que:

$$q = m * C\dot{P} * \Delta T \quad (56)$$

En la Figura 60 podemos observar la tasa de calor almacenado en función del tiempo.

Figura 60. Calor almacenado en función del tiempo.



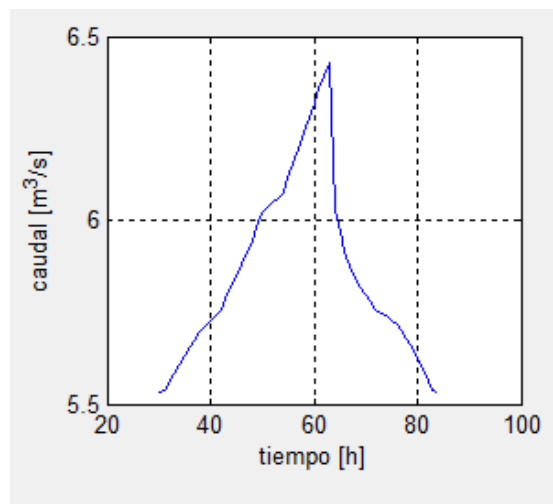
Fuente: Autores.

En la gráfica podemos observar el comportamiento del calor almacenado en el tiempo de funcionamiento de los hornos colmena, debido a que el periodo total del sistema es de 2 horas, 1 hora de enfriamiento 1 hora de calentamiento, podemos ver el cambio del calor almacenado por hora en cada almacenador, en el punto de máxima temperatura se presenta la mayor transferencia de calor llegando a recuperar más o menos 2000 KW de calor residual.

Sumando el calor almacenado por hora en cada almacenador nos permite calcular el calor total almacenado por el sistema de regeneración de matriz fija, recuperando 77 382 KW (263 854 087 BTU) del calor desechado por los hornos colmena de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S. calor que va a ser aprovechado para el proceso de secado de la empresa.

6.1.5 Determinación del sistema de impulsión.

Figura 61. Caudal de gases en función del tiempo.



Fuente: Autores.

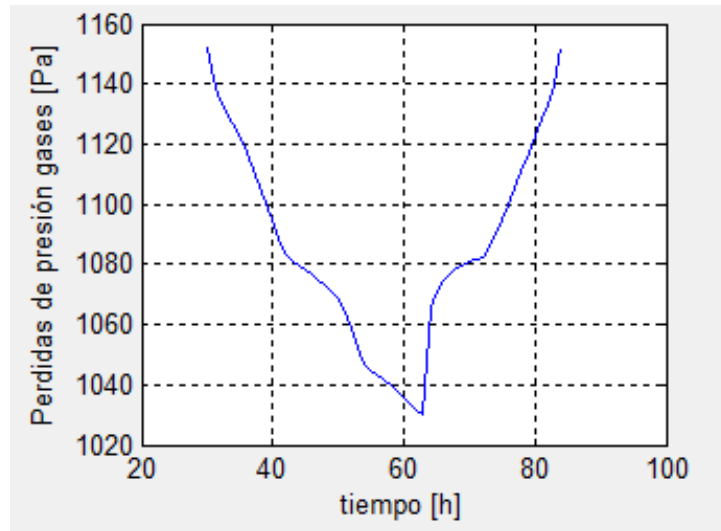
Se debe tener en cuenta para la selección del sistema de impulsión de los gases es necesario tener un variador de frecuencia para garantizar el comportamiento de este caudal y no afectar el proceso de combustión del horno. Además para impulsar el aire se utilizará el sistema ya instalado en la empresa el cual cuenta con las siguientes características:

- Potencia: 30 HP
- Caudal: 22954.53 CFM
- Velocidad del motor: 1765 rpm
- Polea motor: 6 pulgadas
- Polea eje del ventilador: 13.750 pulgadas
- Diámetro de la turbina: 45.250 pulgadas
- Relación de transmisión: $i=0.436$

Retomando la distribución del sistema de recuperación ya conocida y con las dimensiones de las tuberías y diámetros y demás parámetros se realizó un código de programación dentro del diseño térmico para ver el comportamiento del diferencial de presión necesario para la selección de la turbina porque éste no va a ser constante debido a las variaciones del flujo másico y por consiguiente la velocidad de los gases.

En la gráfica de la Figura 62 se observa el comportamiento de la presión requerida para vencer las pérdidas en el sistema y la cual debe ser suministrada por la turbina que se instala en la base de la chimenea para evacuar los gases de combustión hacia el ambiente.

Figura 62. Perdida de presión en el sistema.



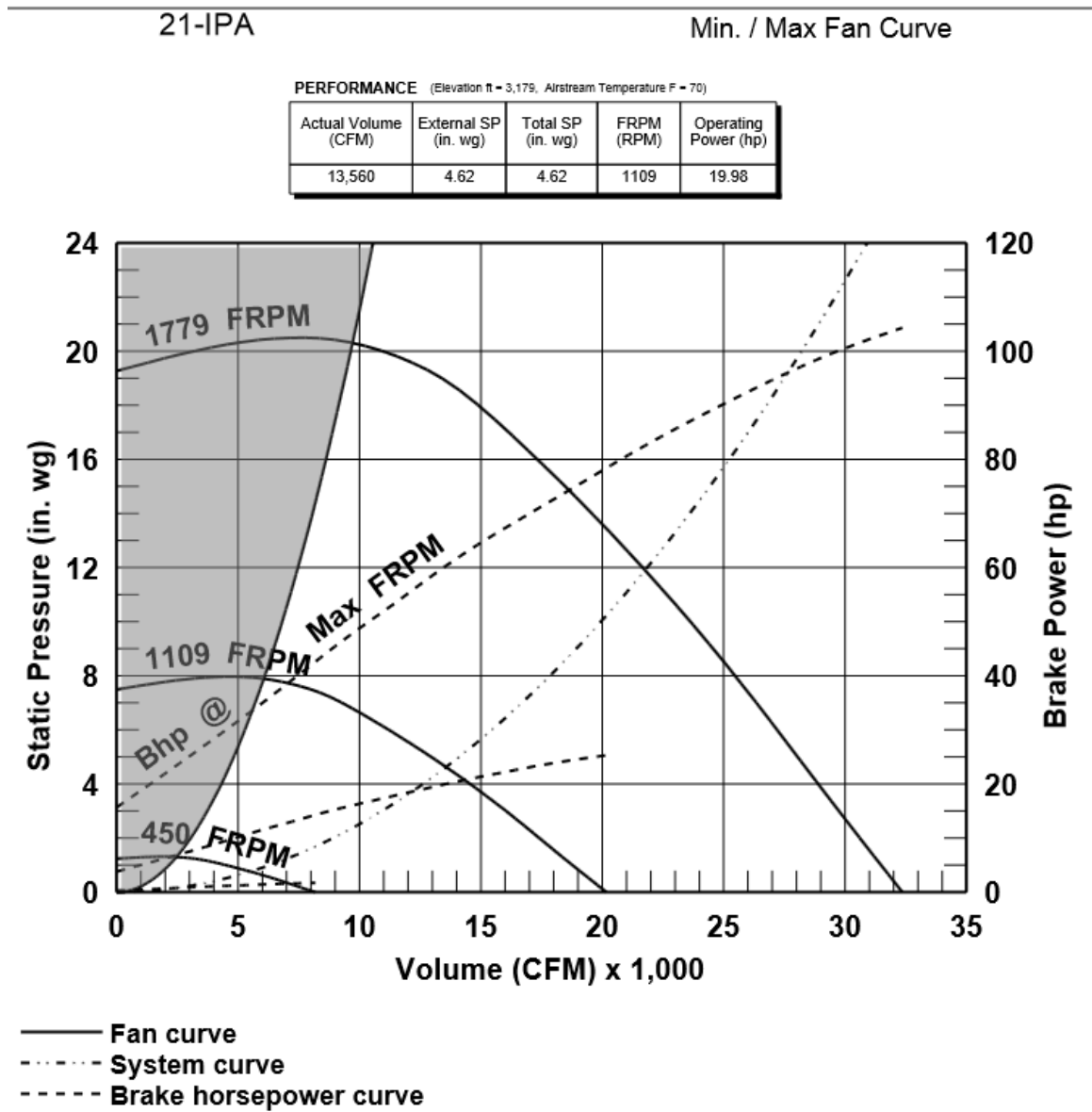
Fuente: Autores.

Se debe garantizar que la turbina pueda vencer la máxima presión que en este caso está en un valor de 1151.8 Pa (4.62 in H₂O) y que se encuentra en las temperaturas más bajas del sistema que es el inicio y el final del proceso de cocción.

Para la selección de la turbina también se debe tener en cuenta cual es el flujo volumétrico que pasa por el sistema, pero como se ha mencionado anteriormente éste también presenta una variación en el tiempo como se observa en la Figura 61 y que muestra que el flujo volumétrico de los gases que en la gráfica varía en unos valores entre 5.5 m³/s (11653.84 cfm) como mínimo y un máximo de 6.4 m³/s (13560.83 cfm) y que mediante un variador de frecuencia se debe controlar este comportamiento para no afectar el comportamiento del horno y afecte la cocción del producto.

Por consiguiente con estos datos la turbina o ventilador adecuado para instalar según la marca GREENHECK es el modelo 21-IPA con las siguientes características:

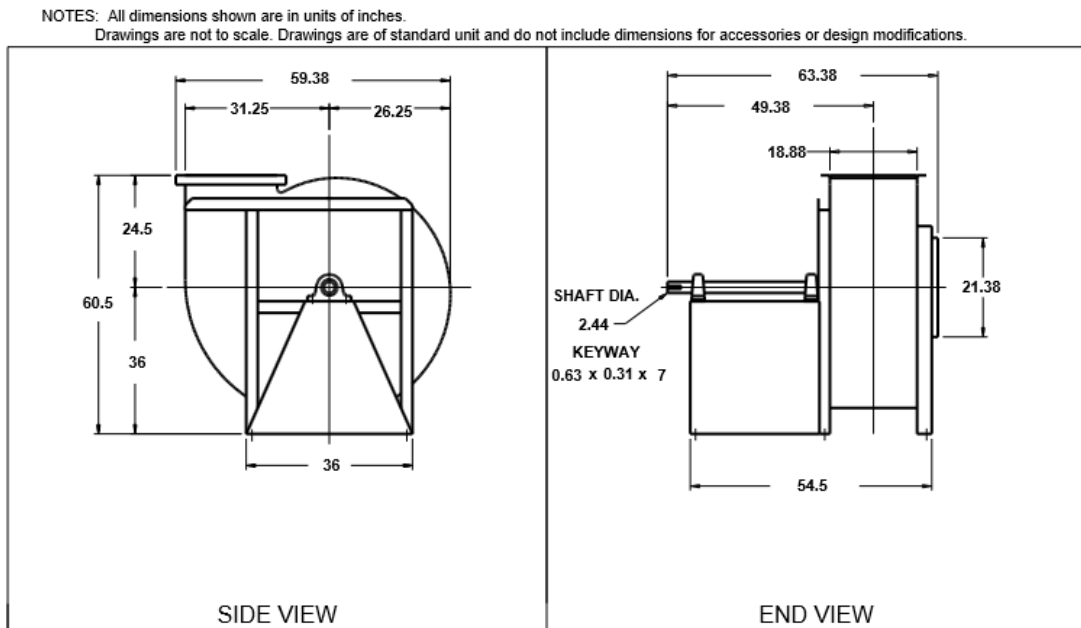
Figura 63. Características ventilador GREENHECK modelo 21-IPA.



Fuente: GREENHECK

Además con las siguientes características geométricas:

Figura 64. Características geométricas ventilador GREENHECK modelo 21-IPA.

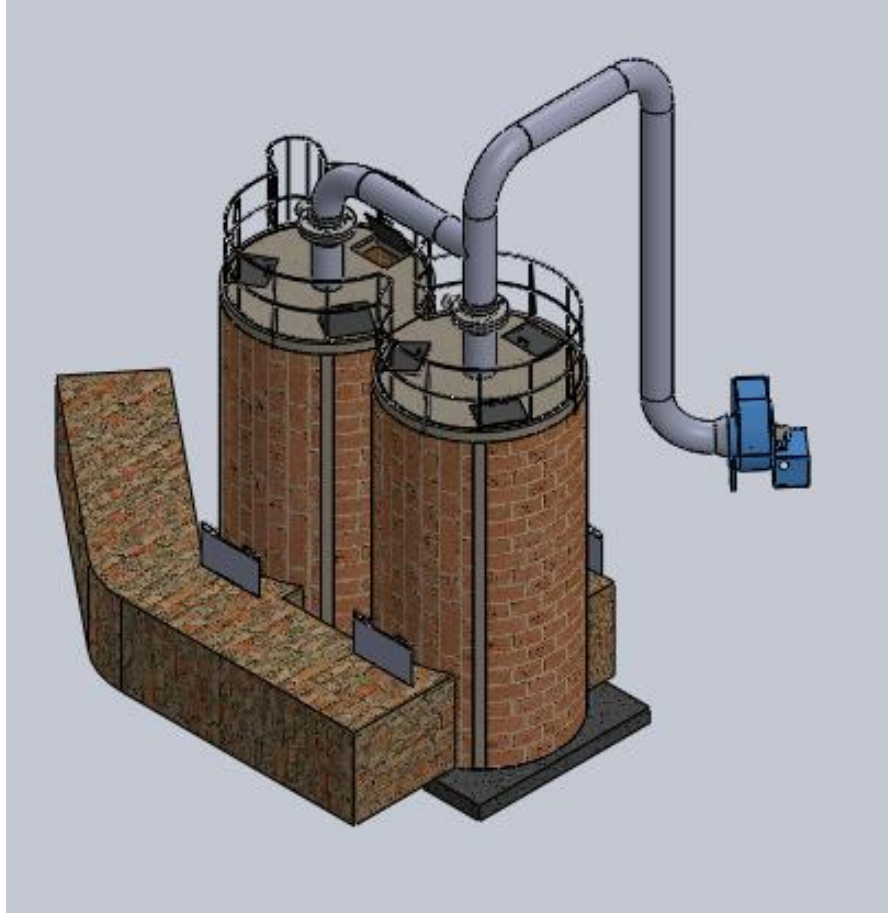


Fuente: *GREENHECK*.

6.1.6 Dimensionamiento del tanque almacenador

Es necesario determinar cómo es definitivamente el sistema, que después de todos los análisis tanto de transferencia de calor como y todos los resultados define en si la propuesta final del sistema de recuperación de calor.

Figura 65. Propuesta final sistema de regeneración de calor para la empresa LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.



Fuente: Autores.

En la Figura 65 se observa la propuesta final donde se observan los dos regeneradores ubicados de tal manera que permita las conexiones de los ductos y sus respectivos accesorios del sistema de impulsión y que está dispuesto para conectar directamente al sistema ya instalado en la empresa.

Los planos detallados de todo el sistema se pueden observar en los ANEXOS donde se encuentran todas las medidas necesarias para su construcción.

Tanques de almacenamiento

Los dos tanques son prácticamente iguales a excepción de algunos pequeños detalles pero que no varía nada en el funcionamiento, entonces el diseño definitivo se observa en la Figura 66.

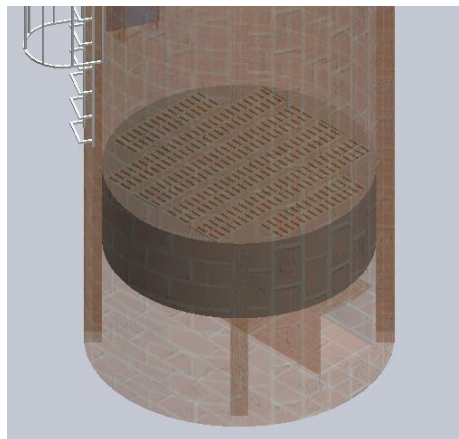
Figura 66. Dimensionamiento definitivo del tanque almacenador.



Fuente: Autores.

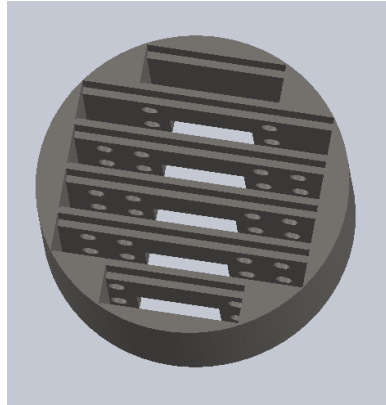
Una parte importante es el piso que va a soportar el peso del lecho para que permita una adecuada distribución del fluido, la solución aportada se observa en la Figura 67 y Figura 68 donde se plantea una base en concreto reforzado con unas viguetas que permiten asentar una cantidad de adoquines huecos. Estas viguetas que deben soportar los adoquines para mayor seguridad se refuerzan con varilla para evitar la flexión en el espacio en voladizo. También se pueden observar algunos orificios en las viguetas para lograr que el flujo tenga una buena distribución en la base del regenerador.

Figura 67. Base de concreto reforzado del regenerador.



Fuente: Autores.

Figura 68. Base de soporte de la matriz del regenerador.

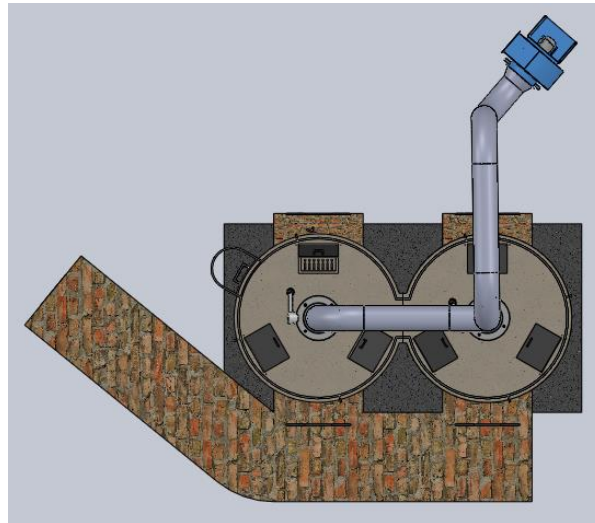


Fuente: Autores.

Ductos de transporte

Como se propuso anteriormente para tener un ahorro en la implementación de los ductos únicamente se utilizarían de acero en la vía que lleva los gases a la chimenea con la tubería ya seleccionada anteriormente, entonces los ductos para conexión con los ya existentes en la planta se realizan también de ladrillo como se observa en la Figura 69.

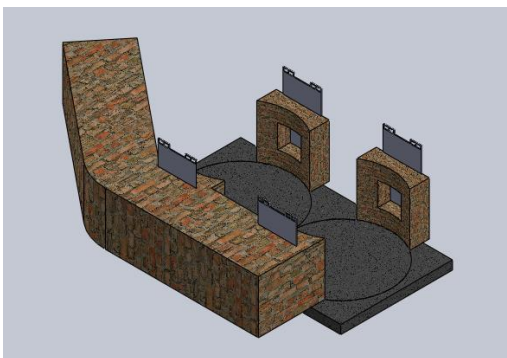
Figura 69. Ductos superiores de transporte de fluidos.



Fuente: Autores.

Esta geometría de los ductos de ladrillo es necesaria para la conexión adecuada de acuerdo al espacio disponible en la planta, también se observa que las compuertas que permiten el paso de los fluidos simplemente es de acción manual subiendo para permitir el paso y bajando para obstruirlo.

Figura 70. Ductos provenientes del horno al sistema de regeneración.



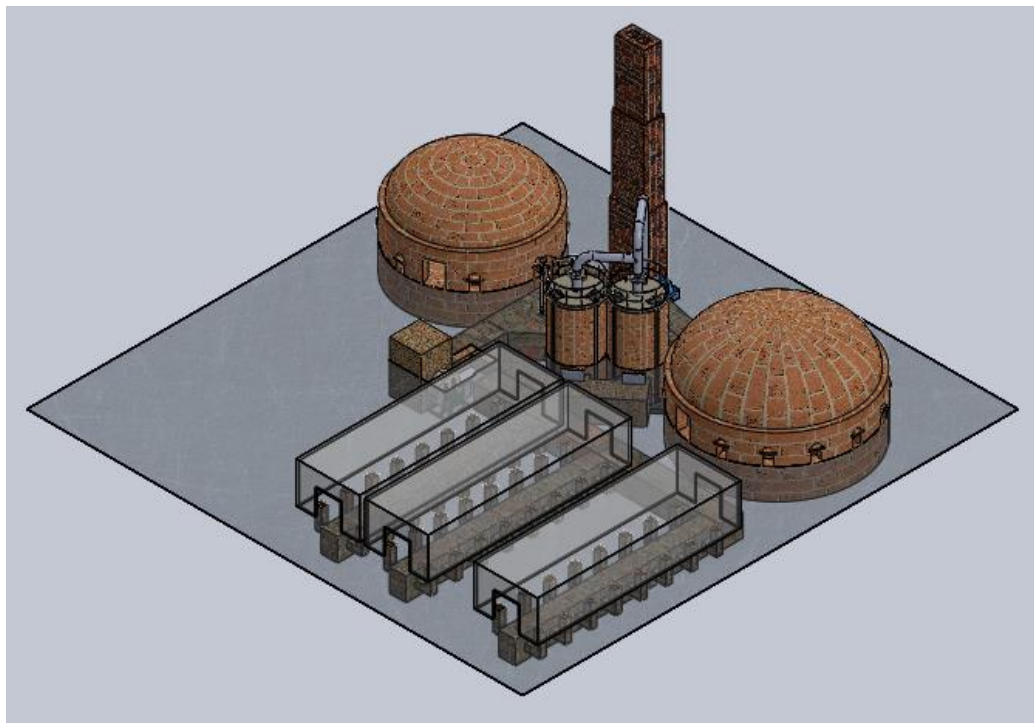
Fuente: Autores.

Ubicación de los regeneradores en la planta

En la planta se tenían limitantes de espacio para el diseño del sistema, y esto se tuvo en cuenta tanto para el diseño térmico para determinar las áreas de transferencia de calor y determinar las dimensiones de los tanques para que se adecue al espacio disponible.

Los datos de distribución de la planta fueron obtenidos de trabajos de grado anteriormente realizados para la empresa y fue modelado nuevamente para la ubicación del sistema de regeneración de calor.

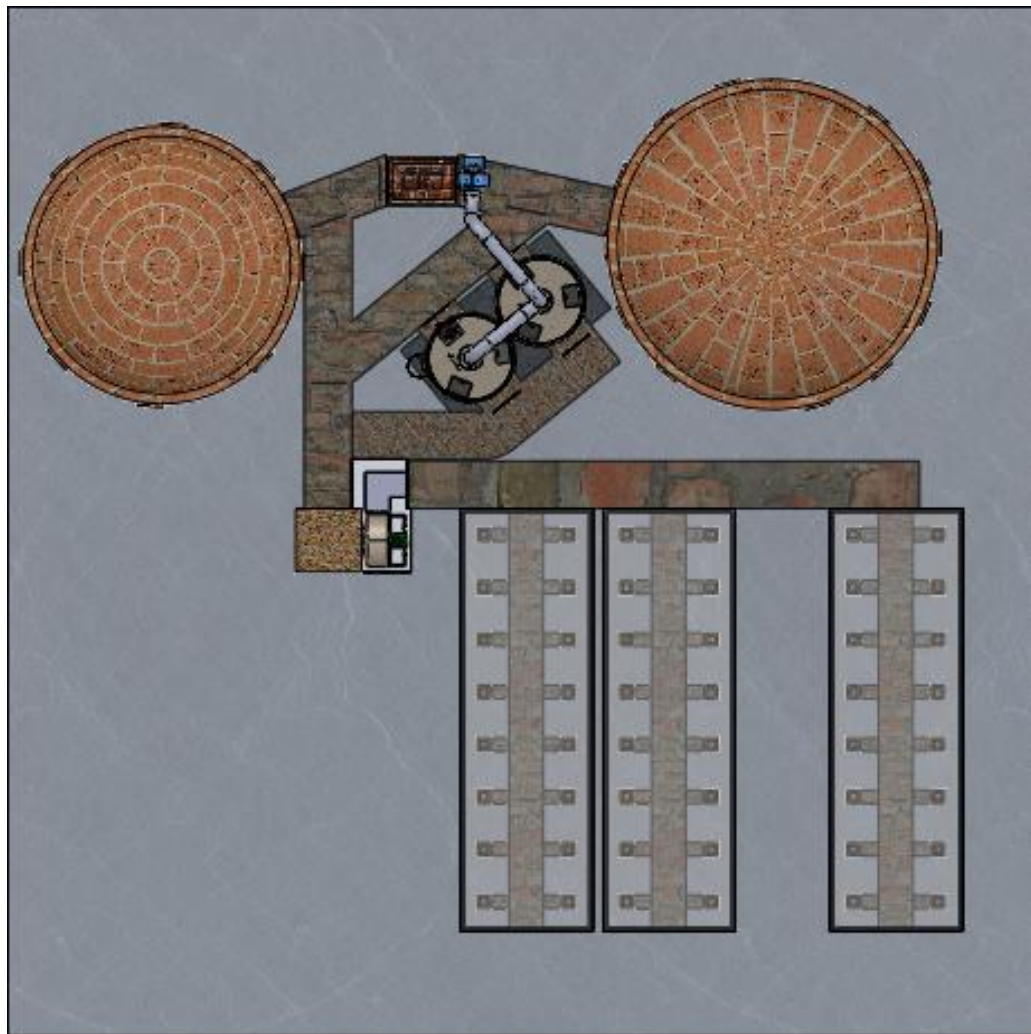
Figura 71. Ubicación del sistema de regeneración en la planta de LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.



Fuente: Autores.

En esta vista isométrica se observan los hornos, los tres secaderos, la chimenea y la ubicación del sistema de recuperación de calor, para detallar mejor la distribución de los ductos se observa mejor en la vista en planta de la Figura 72.

Figura 72. Vista superior de la ubicación del sistema de regeneración.



Fuente: Autores.

En la Figura 72 también se puede observar la distribución de los ductos de una manera más clara y se visualiza las conexiones a los ductos subterráneos y que espacio ocupan. Ya con las dimensiones de todas la piezas y con la selección de la tubería y conociendo las dimensiones de los ductos subterráneos se pueden determinar las pérdidas de flujo que se van a presentar y por consiguiente determinar la turbina necesario para mantener el flujo requerido.

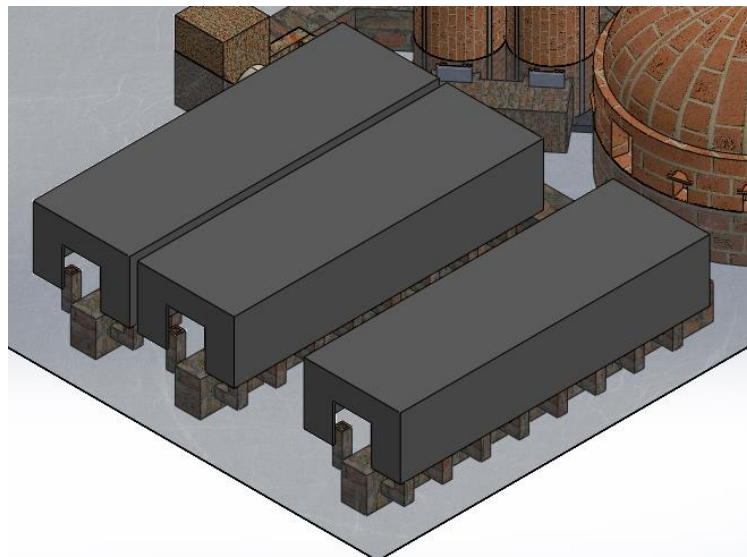
7. REDISEÑO DEL SISTEMA DE SECADO.

7.1 SISTEMA DE SECADO Y NUEVO FLUJO DE MATERIAL.

El secado es la operación mediante la cual se busca eliminar el un porcentaje de líquido contenido en los ladrillos para su posterior fase de cocción en el horno. Para secar dichos ladrillos se requiere de una fuente de calor y un sumidero para el vapor producido, los dispositivos en los cuales se lleva a cabo el proceso de secado se llaman secaderos artificiales.

Como lo describimos en capítulos anteriores, la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S cuenta con un sistema de 3 secaderos en paralelo, como se muestra en la Figura 73, con dimensiones de 5 x 16 x 3 m, y con una capacidad de 3000 unidades por secadero.

Figura 73. Secaderos de la empresa ladrillos y acabados S.A.S.



Fuente: Autores.

Actualmente, debido al bajo aprovechamiento energético de la planta se encuentran en funcionamiento 2 secaderos los cuales su fuente de calor son los gases de combustión de los hornos colmena en la etapa de enfriamiento únicamente, estos gases se mezclan con aire ambiente con el fin de obtener una temperatura entre los 80 – 110°C, este proceso de secado tiene una duración de más o menos 28 horas por cada secadero, obteniendo así una cantidad de 6000 piezas secas por periodo de funcionamiento de los hornos, este sistema además de obtener un bajo aprovechamiento de la energía disponible de los gases de combustión es peligroso debido a la gran concentración de material particulado en las cámaras de secado.

En resumen:

- Cantidad de piezas producidas por periodo de funcionamiento de los hornos: 6000 unidades.
- Alta concentración de material particulado en las cámaras de secado.

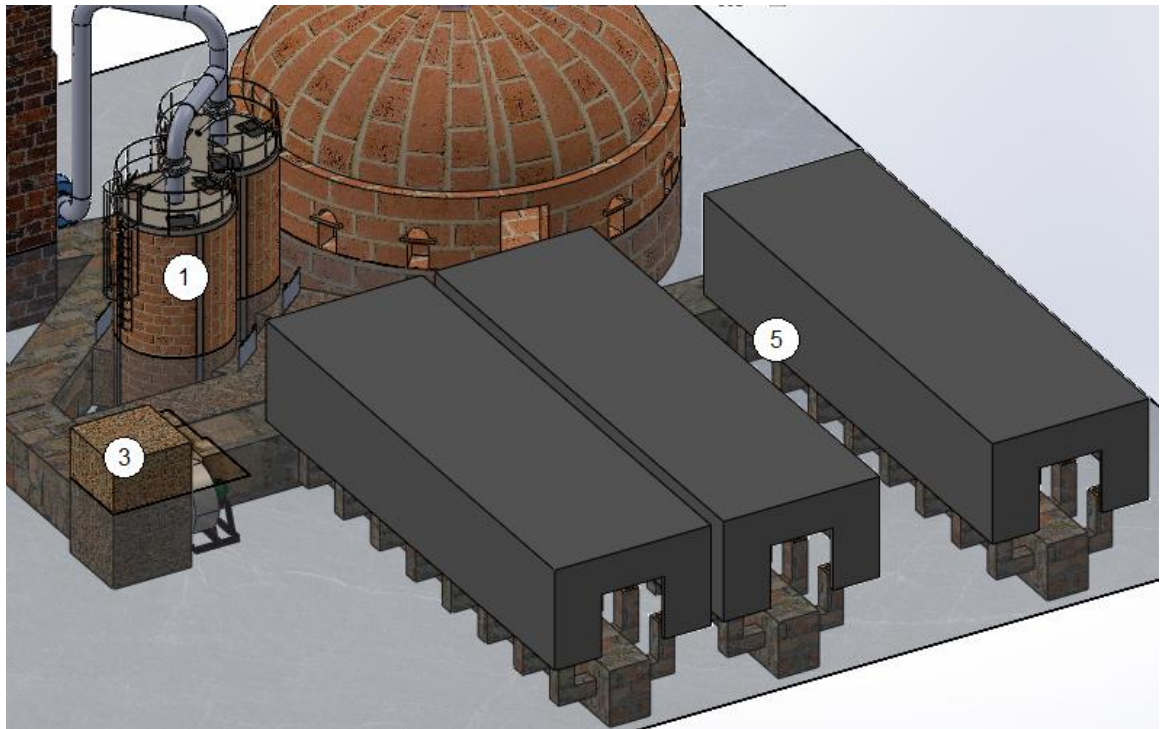
7.1.1 Propuesta de rediseño del proceso de secado.

Con la adaptación del sistema de regeneración de calor se busca recuperar la mayor cantidad de energía proveniente de los gases de combustión de los hornos colmena y aprovecharlos en el proceso de secado y así aumentar la producción de material seco para el proceso de cocción aportado por los secaderos artificiales, además el fluido de trabajo cambia de los gases de combustión por aire ambiente que pasa por los regeneradores aumentando su temperatura para ser aprovechado en el proceso de secado.

Propuesta para el nuevo sistema de secado:

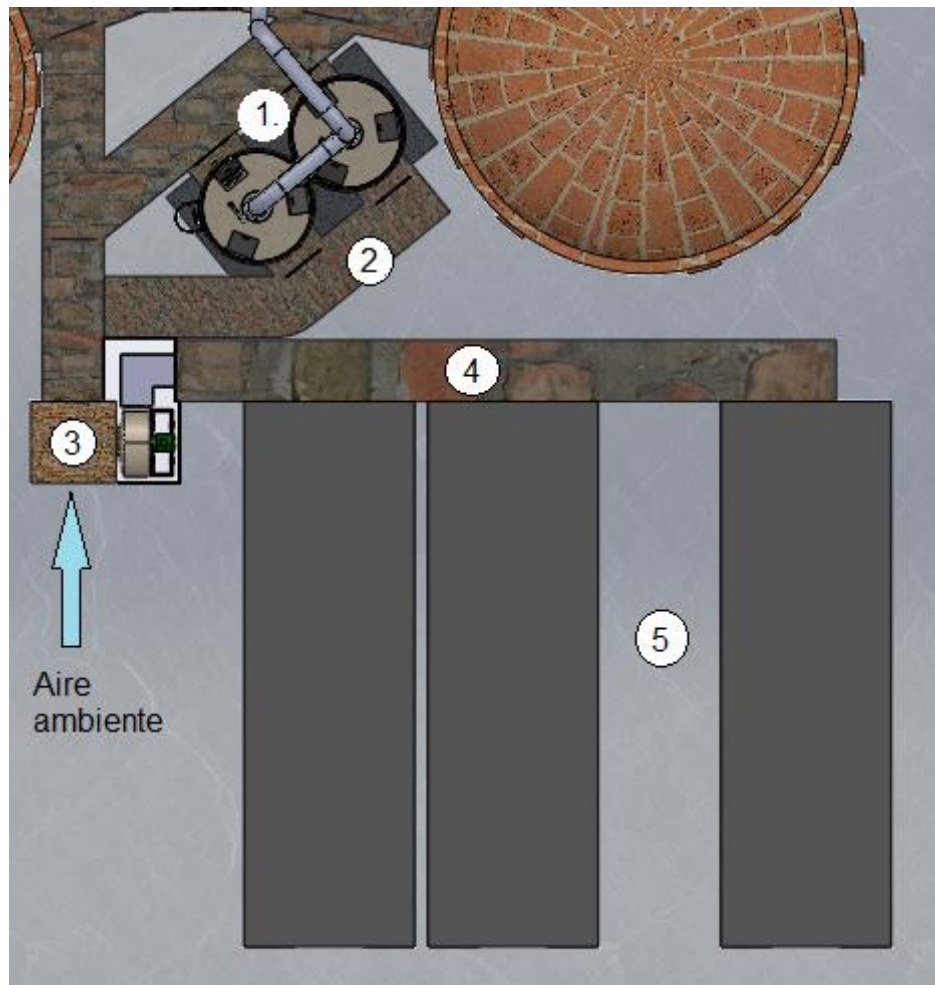
- a. Fuente de calor: Regeneradores de matriz fija.
- b. Periodo de funcionamiento: Etapa de quema plena y enfriamiento de los hornos colmena.
- c. Fluido de trabajo: Aire a 100°C.
- d. Sumidero para el vapor: Aire.
- e. Utilización de los 3 secaderos.

Figura 74. Propuesta sistema de secado.



Fuente: Autores.

Figura 75. Propuesta de sistema de secado (vista superior).



Fuente: Autores.

En la Figura 74 y Figura 75 se puede observar la adaptación del sistema de regeneración para el aprovechamiento de la energía almacenada en el proceso de secado, en ellas encontramos:

1. Fuente de calor: Sistema de regeneración de matriz fija, el sistema consiste en 2 almacenadores gemelos los cuales aseguran operación continua del sistema de almacenamiento y aprovechamiento del calor. La fuente de calor opera

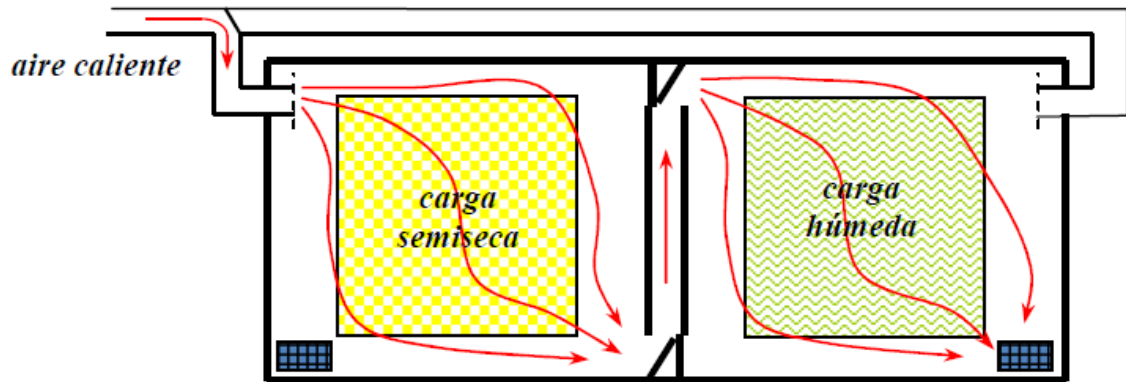
entrando aire ambiente al almacenador que en dicho momento se encuentra en periodo de enfriamiento, la matriz transfiere calor sensible al aire aumentando así su temperatura a la salida de este.

2. Sistema de transporte de aire a alta temperatura (100 – 400°C), transporta el aire a la cámara de mezcla.
3. Cámara de mezcla: mezcla el aire proveniente de los almacenadores con aire ambiente para llevar la temperatura a la temperatura de secado (80 – 120°C)
4. Sistema de distribución, distribuye el aire proveniente de la cámara de mezcla entre los 3 secaderos dependiendo del periodo en el que se encuentren (Secado, carga, descarga).
5. Secaderos.

7.1.2 Propuesta para el flujo de material.

Como se ha mencionado en repetidas ocasiones la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S posee 3 secaderos artificiales intermitentes, los secaderos de marcha intermitente se caracterizan generalmente por tener el producto a secar en estado estático (sin movimiento), poseen por lo general dos cámaras, una de las cuales contiene una carga húmeda recientemente cargada y la otra que ya ha sufrido un principio de secado. El aire recorre la segunda cámara y pasa a la después a la primera cámara y hace un segundo recorrido, cuando la segunda cámara alcanza el secado deseado se cambia por producto húmedo y se repite el proceso pero en sentido contrario.

Figura 76. Secadero intermitente.



Fuente: Termodinámica Aplicada. Juan Francisco Maradey.

Actualmente la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S mantiene en funcionamiento 2 de los 3 secaderos que posee instalados produciendo en total 6000 unidades por periodo de funcionamiento de los hornos, basándose en este principio de funcionamiento.

La propuesta a implementar en este proyecto es la de combinar el funcionamiento de un secadero intermitente con el principio de funcionamiento continuo aplicado al sistema de almacenamiento, el nuevo sistema de secado debe considerar 3 etapas.

Etapa 1: Carga del secadero, esta etapa consiste en la carga de material húmedo al secadero.

Etapa 2: Secado: esta etapa se permite el ingreso del aire a alta temperatura para la extracción de humedad del material cargado.

Etapa 3: Descarga, en esta etapa se procede al proceso de descargar el material seco de los secaderos.

Al igual que con el sistema de almacenamiento que se intercalan los periodos de calentamiento y enfriamiento entre los dos almacenadores para establecer un flujo continuo de energía, la idea es buscar una combinación entre las 3 etapas del proceso de secado para así mantener un flujo de material constante durante el periodo de funcionamiento de los hornos, permitiendo así aprovechar los 3 secaderos existentes y aprovechando al máximo el tiempo de funcionamiento de los secaderos.

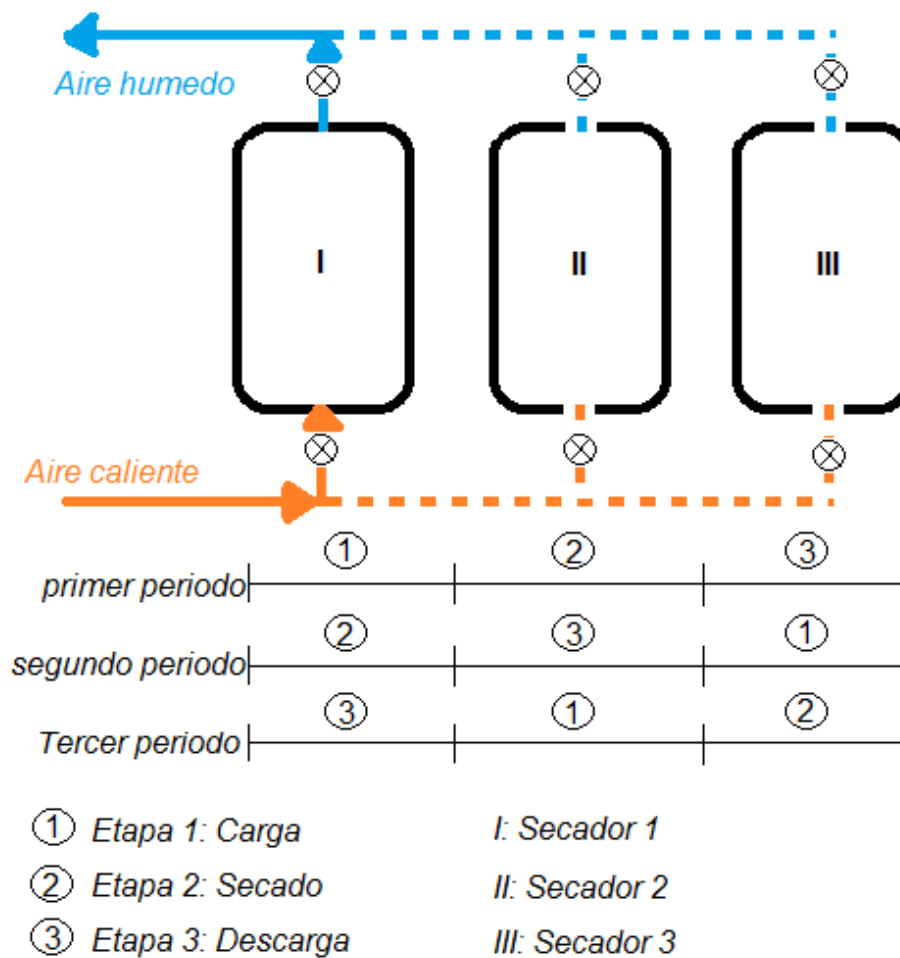
La idea es que mientras un secadero 1 se encuentra en la etapa 2 (Secado), el secadero 2 se encuentre en la etapa 1 (Carga) y el secadero 3 se encuentre en etapa 3 (Descarga), al culminar el primer periodo de secado se cambian las etapas en los secaderos pasando el secadero 1 a descarga, el secadero 2 a secado y el secador 3 a carga, así sucesivamente manteniendo un flujo constante de energía y material en los secaderos.

En la Figura 77 establecemos como sería el comportamiento del flujo de material en los secaderos para obtener un flujo constante de material y energía.

El objetivo principal del nuevo sistema de secado es aumentar el producto seco producido en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S. en un 200%, actualmente la empresa produce 6000 unidades de material seco por periodo de funcionamiento de los hornos colmena. El nuevo sistema de secado deberá producir 18000 unidades de producto seco en el mismo periodo de tiempo, para ello debemos

analizar 2 factores importantes para el cumplimiento de la demanda, los factores a determinar el aumento de la producción de material seco son el tiempo de funcionamiento del sistema de secado y el requerimiento energético para producir tal cantidad de material seco.

Figura 77. Propuesta flujo de material en secaderos.



Fuente: Autores.

7.2 ANALISIS DE TIEMPO.

El tiempo de funcionamiento de los secaderos es uno de los factores críticos para el cumplimiento del objetivo principal de producir 18000 unidades de material seco, debido a que la energía que disponemos está determinada por el flujo de gases de combustión producidos por el horno colmena, actualmente solo se aprovechan los gases de combustión residuales durante el periodo de enfriamiento del horno, pero con la adaptación del sistema de regeneración de energía a la planta podremos disponer de la energía recuperada de los gases desde el periodo de quema plena y el periodo de enfriamiento, obteniendo así un mayor periodo de funcionamiento de los secaderos.

Para determinar el tiempo de funcionamiento de los secaderos debemos conocer 2 parámetros: tiempo disponible de flujo energético y el tiempo necesario de un periodo de secado (Carga, secado y descarga) de un secadero.

7.2.1 Tiempo disponible de flujo energético.

Según datos tomados de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S. el periodo de funcionamiento con quema de combustible en los hornos colmena se divide en tres etapas:

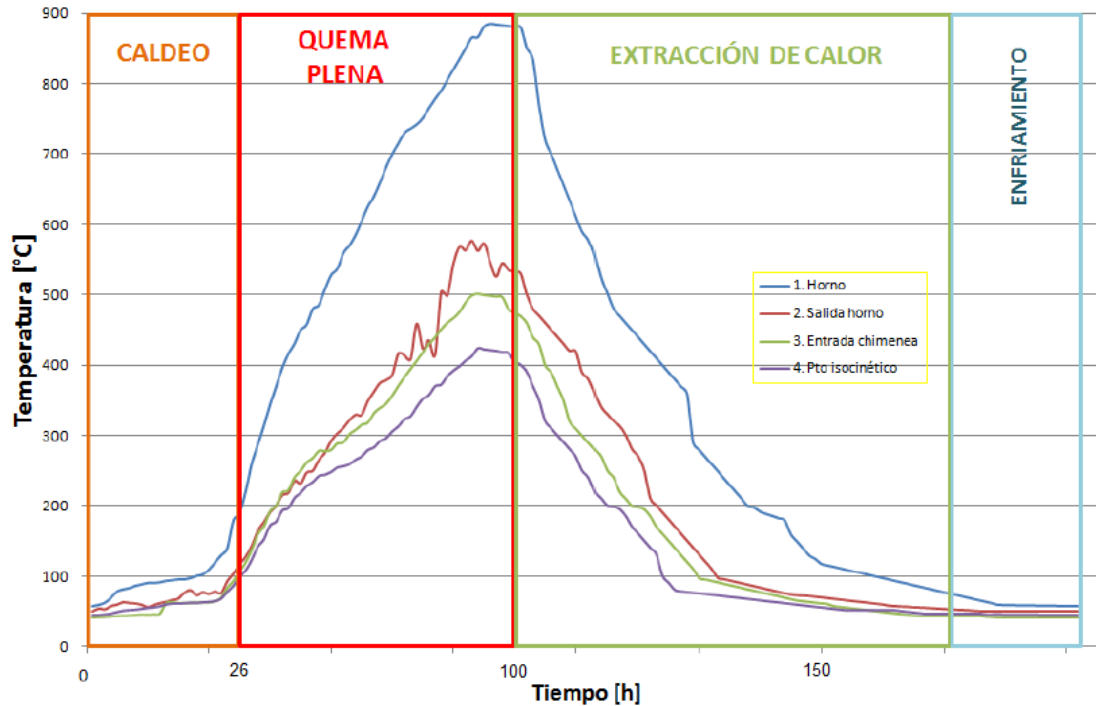
1. Caldeo: etapa de quema de combustible para retirar la humedad de los materiales, lleva la temperatura hasta los 300 °C, esta etapa se caracteriza por tener unos humos muy concentrados típicos al inicio de la combustión y debido

a su baja temperatura son desechados por unos agujeros en el techo de los hornos, este proceso tiene una duración de 26 horas.

2. Quema plena: quema plena o fuego bravo, inicia la cocción de los productos, retira la humedad de los productos hasta alcanzar el 7% de humedad, eleva la temperatura del horno hasta más de 1000°C, los productos obtenidos de su combustión son arrastrados por el tiro de la chimenea hasta el ambiente pasando primero por el sistema de regeneración, este periodo tiene una duración de 72 horas.

3. Enfriamiento: Etapa en la que se para la quema de combustible, los gases calientes al interior del horno finalizan de extraer la humedad necesaria de los productos, el horno se abre hasta alcanzar las temperaturas adecuadas para el ingreso del personal encargado de descargar el material procesado, este proceso tiene una duración de 50 horas.

Figura 78. Etapas de funcionamiento del horno colmena de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.



Fuente: Diseño de un sistema para la recuperación de calor residual en los gases de combustión de los hornos colmena en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S.

Considerando que el nuevo sistema de secado podrá aprovechar los gases de combustión obtenidos durante el tiempo de quema plena y enfriamiento obtenemos que el tiempo de regeneración de energía que será posteriormente utilizada en el proceso de secado es de 100 horas.

Tiempo disponible de flujo energético: 100 horas.

Pero según nuestro diseño el tiempo de aprovechamiento del sistema regenerador son de 60 horas aproximadamente (ver Figura 35).

7.2.2 Tiempo requerido por un periodo de secado

El periodo de secado para la producción de 3000 unidades (1 secaderos) tarda un tiempo de más o menos 28 horas.

Para definir el tiempo requerido en el proceso de secado debemos primero establecer el tiempo que se tarda en realizar cada etapa del proceso:

Etapa 1: Carga, toma un tiempo de 2 horas la carga de 3000 unidades de material húmedo.

Etapa 2: Secado, tiene una duración de 24 horas la etapa de secado.

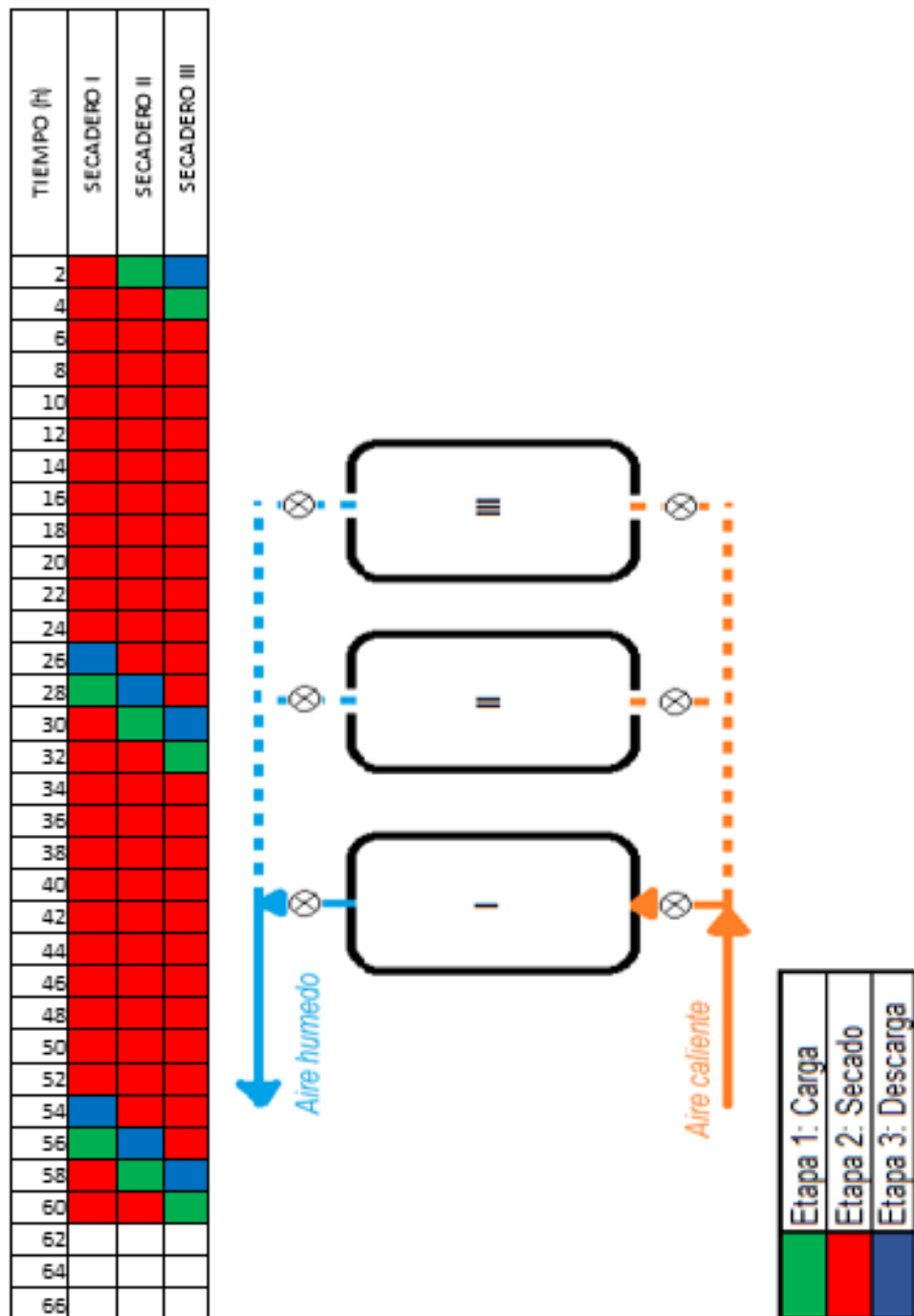
Etapa 3: Descarga, toma un tiempo de 2 horas.

Como podemos observar los periodos de carga (Etapa 1) y descarga (Etapa 3) son bajos en comparación al tiempo de secado (Etapa 2) pudiendo estos llevarse a cabo durante el periodo de secado de uno de los secaderos, es decir mientras el secadero 1 se encuentra en la etapa 2, los secaderos 2 y 3 se pueden cargar y descargar sucesivamente para ponerlos en marcha sin que el secadero 1 haya terminado su proceso de secado.

Teniendo en cuenta el tiempo disponible, 60 horas, y el tiempo necesario en cada etapa del proceso de secado, podemos establecer un sistema de flujo de material húmedo en los secaderos haciendo una combinación óptima de las tres etapas (Carga, secado, descarga) garantizando así un flujo continuo de material y obteniendo un mayor aprovechamiento de los secaderos y por ende mayor producto seco.

En la siguiente figura se muestra una propuesta del flujo de material en los secaderos.

Figura 79. Diagrama de flujo del material en los secaderos.



Fuente: Autores.

De la figura anterior podemos observar que en un periodo de 60 horas cada secadero puede funcionar hasta 2 veces, obteniendo así 6 lotes de 3000 unidades de material seco cada uno. Adaptando el sistema de funcionamiento planteado en la Figura 79 obtendríamos además de un flujo continuo de material y de consumo energético un total de 18000 unidades de material seco listo para el periodo de cocción.

Total de material seco producido según análisis de tiempo: 18 000 unidades.

En base al análisis de tiempo obtendríamos un aumento del 200% de material seco, este análisis esta a su vez acotado por el análisis energético del sistema de secado el cual determinara en base al calor almacenado si puede satisfacer la demanda energética para producir las 18 000 unidades de material seco.

7.3 ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL PROCESO DE SECADO.

Uno de los factores más importantes para el cumplimiento del objetivo principal de obtener 18000 unidades de material seco en los secaderos artificiales de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S es el análisis de consumo de energía del proceso de secado, con la adaptación del sistema de regeneración de matriz fija a la planta de producción la fuente de calor a aprovechar en el proceso de secado cambia a ser aire calentado por los almacenadores de energía, los cuales la obtienen de los gases de combustión que pasan a través de las matrices los almacenadores, aumentando así la energía disponible en la fuente de calor de los secaderos.

Para determinar la mayor cantidad de material seco que se puede producir en la planta debemos comparar y analizar tanto la energía disponible para el proceso de secado como los requerimientos energéticos que dicho proceso necesita para retirar la mayor cantidad de humedad de los productos.

7.3.1 Energía disponible para el proceso de secado.

La energía disponible para el proceso de secado es obtenida de los almacenadores del sistema de regeneración de energía, los gases de combustión producidos por la quema del carbón en los hornos colmena son desechados al ambiente, para recuperar la mayor cantidad de energía posible los gases de combustión se hacen pasar por un sistema de regeneración de matriz fija que consiste en un tanque con una matriz de material sólido el cual se calienta por el contacto de los gases, después del periodo de calentamiento, se hace pasar por la misma matriz aire a temperatura ambiente, el cual enfría la matriz aumentando así su temperatura y aprovechar de esta manera el calor almacenado en el sistema para el proceso de secado.

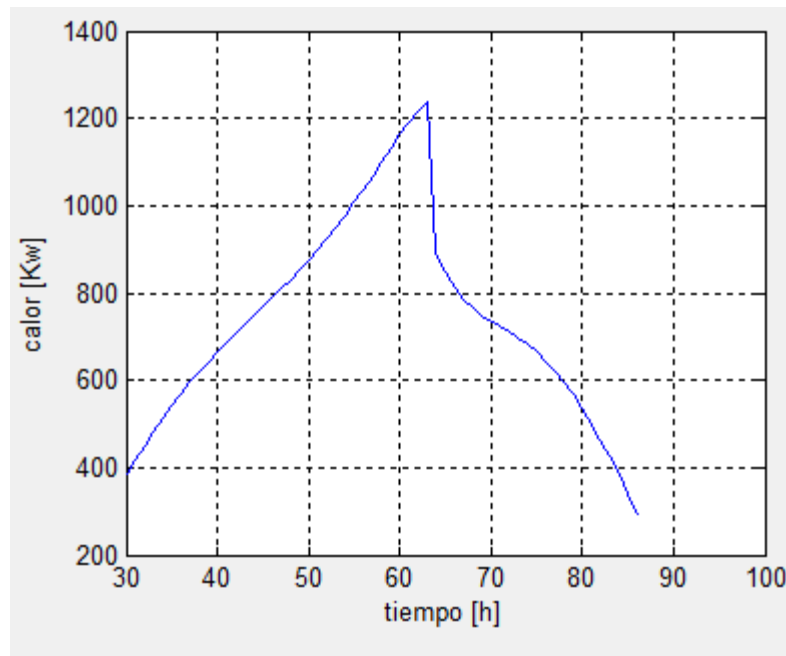
La energía disponible se obtiene calculando el calor recuperado por el aire al cruzar por el regenerador el cual es igual al producto del flujo másico por el calor específico promedio del fluido por la diferencia de temperatura entre la entrada y salida del aire en el almacenador.

$$q = m * C\dot{P} * \Delta T \quad (57)$$

En la Figura 80 se observa la energía que el aire recupera al cruzar el regenerador para el tiempo entre la temperatura entre 250°C y 600°C, la energía recuperada se encuentra entre los siguientes rangos:

- Potencia mínima recuperada: 300 KW.
- Potencia máxima recuperada: 1200 KW.

Figura 80. Calor recuperado por el aire.



Fuente: Autores

7.3.2 Energía requerida para el proceso de secado.

Se desea secar 3000 unidades de ladrillo común cada 24 horas con aire caliente. Un ladrillo contiene una humedad inicial del 16% y un peso de 6.7 Kg-f y debe salir del secadero con una humedad del 7% y un peso de 5.8 Kg-f. El secadero se encuentra a una temperatura de secado constante de 100°C.

Para obtener el calor requerido en el sistema de secado basta con conocer tanto las propiedades del material a secar, como las condiciones del fluido de trabajo y la cantidad de agua a remover del material húmedo.

Por ladrillo tenemos que:

$$m_{inicial} - m_{final} = 6,7 - 5,8 = 0,9 \text{ Kg} \quad (58)$$

Por ladrillo debemos remover una masa de 0,9 kg de agua, como cada secadero tiene una capacidad de 3000 unidades, la masa total de agua a remover en el proceso de secado es de 2700 kg de agua.

El calor que suministra el aire en los secaderos al material húmedo está determinado por la expresión:

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_s * C_s * (t_2 - t_1) + \dot{m}_{w2} * h_{w2} - \dot{m}_{w1} * h_{w1} \quad (59)$$

Donde:

m_s es la masa de producto seco.

C_s es el calor específico del producto seco = 0,84 KJ/Kg-°C

t_1 es la temperatura inicial del material húmedo = 24°C

t_2 es la temperatura final del material seco = 100°C

m_{w1} es la masa de agua inicial en el ladrillo

m_{w2} es la masa final de agua en el ladrillo

h_{w1} y h_{w2} es la entalpia del agua en el material húmedo y material seco respectivamente = 100,7 y 419,1 KJ/Kg

Debemos hallar la masa de ladrillo seco, ésta la obtenemos conociendo la masa de material húmedo y el porcentaje de humedad del material, entonces tenemos que:

$$\dot{m}_s = m_{humedo} - m_{humedo} * \%humedad \quad (60)$$

$$\dot{m}_s = 6,7 - 6,7 * 0.16 = 5,5 \text{ Kg} \quad (61)$$

El material seco por ladrillo tiene una masa de 5,5 Kg, debido a que la cantidad de ladrillos en el secadero es de 3000 unidades tenemos que la masa de producto seco es de 16500 Kg.

La masa inicial de agua contenida en el ladrillo la obtenemos mediante la expresión:

$$m_{w1} = m_{humedo1} ** \%humedad1 = 6,7 * 0.16 = 1,072 \text{ Kg} \quad (62)$$

El contenido de agua inicial en el ladrillo es de 1,072 Kg, para 3000 unidades la cantidad de agua inicial en el secadero es de 3216 Kg.

La masa final de agua contenida en el ladrillo está dada por la expresión:

$$m_{w2} = m_{humedo2} ** \%humedad2 = 5,8 * 0.07 = 0,406 Kg \quad (63)$$

La masa contenida de agua final en el secadero es de 1218 kg.

Reemplazando en la ecuación principal tenemos que:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_c = & 16500Kg * \frac{0,84KJ}{Kg \text{ } ^\circ C} * (100^\circ C - 40^\circ C) + 1218Kg * \frac{419,1KJ}{Kg} - 3216Kg \\ & * \frac{100,7KJ}{Kg} \quad (64) \end{aligned}$$

$$\dot{Q}_c = 1\ 018\ 212,6\ KJ \quad (65)$$

La energía necesaria para satisfacer el proceso de secado de 1 secadero en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S. es de 1 018 212,6 KJ, como dicho proceso se realiza en 24 horas, se tiene que la potencia consumida en una etapa de secado es de 12 KW.

Como se desea que los tres secaderos estén funcionando al mismo tiempo la potencia consumida total es de 36 KW y en contraste con la potencia disponible se tiene que se cumple a cabalidad con la necesidad (ver Tabla 16).

Tabla 16. Relación de potencia consumida y requerida para el secado.

<i>Potencia mínima disponible</i>	<i>Potencia requerida</i>
300 KW	36 KW

Fuente: Autores.

7.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

De los análisis anteriores podemos determinar que el proceso crítico en el nuevo sistema de secado son los tiempos de funcionamiento, esto quiere decir que el cuello de botella se encuentra en el periodo de funcionamiento de los hornos en contraste con el flujo energético del sistema almacenador por consiguiente el mayor número de piezas que se pueden producir es de 18 000 unidades de producto seco, lo que representaría un aumento del 200% de material seco producido por los secaderos de la empresa.

8. ANÁLISIS ECONOMICO.

8.1 INVERSION INICIAL.

8.1.1 Costo de construcción de los tanques almacenadores.

Como se observó en el proceso de diseño la selección de los materiales para la construcción de los tanques se obtuvieron teniendo en cuenta el costo de los mismos con el fin de que el precio para su instalación fuera el más económico.

El hecho de utilizar materiales que se utilizan en una construcción civil trae una serie de ventajas tanto económicas debido a que materiales como el ladrillo a utilizar puede ser producido por la misma empresa, como también operacionales por ejemplo la utilización de muros de ladrillo ahorra la instalación de un sistema de aislamiento de los tanques por donde pasan gases a temperaturas elevadas.

Los principales materiales a utilizar para esta construcción son concreto, ladrillo, algunos refuerzos metálicos entre otros, a continuación se presenta la cotización de los materiales requeridos que se obtienen a través de los informes especiales de infraestructuras suministrados por la revista Construdata:

- **CIMIENTOS:** La cimentación es importante pues es la parte que soportará toda la estructura para garantizar una estabilidad de la construcción, por ende se realizara una zapata reforzada que pueda garantizar que la estructura no presente asentamientos que representen daños a futuro en la estructura sabiendo que la capacidad portante del suelo en esa región de san gil es aproximadamente de $10 \frac{Ton}{m^2}$ y el costo es:

Cantidad: 5.47 m³

Costo zapata: 2'321.332 pesos

- BASE DE LOS TANQUES: Debido a que los tanques van a estar enterrados una buena cantidad de altura para tener estabilidad en la estructura se selecciona una base de concreto de 3000 psi que permita la entrada de gases por la parte inferior del tanque.

Cantidad: 19.5 m³

Costo: 4'703.127 pesos

- PISO Y VIGUETAS: El piso de los tanques como se ve en el diseño tiene una geometría que permite a los gases ingresar por el fondo de una manera uniforme e implica la construcción de unas viguetas en concreto o entrepiso que para evitar flexión van reforzadas con unas estructuras de acero:

Cantidad: 7.06 m²

Costo: 692.988 pesos

- COLUMNAS: Cada tanque tiene cuatro columnas que soportan la placa y todo es sistema ubicado en la parte superior, éstas están compuestas de concreto con un refuerzo de varillas de acero de media pulgada :

Cantidad de concreto: 1.6 m³

Costo: 1'044.710 pesos

- PLACAS: También compuesta de concreto y un refuerzo de acero permite la instalación y soporte de las tuberías y compuertas que también permitirá el libre desplazamiento del operario.

Cantidad de concreto: 3 m³

Costo: 1'272.660 pesos

- ADOQUINES PARA REJILLA: Se construirá un rejilla en concreto reforzado utilizando varillas de acero de media y tres octavos de pulgada con el fin de resistir las cargas que soportará la estructura.

Cantidad: 12.5 m

Costo: 340.000 pesos

- MUROS: Se requieren muros tanto para la construcción de los tanques como para los ductos que conectan con los demás subterráneos, con ladrillo tolete común de 0.12 utilizando un muro doble.

Cantidad: 106.8 m²

Costo: 4'816.250 pesos

- MURO DUCTOS:

Cantidad: 137 m²

Costo: 6'177.330 pesos

- MATERIAL RELLENO DE LA MATRIZ: Como se había seleccionado como material del lecho el ladrillo tolete común se da un precio según el volumen a ocupado sabiendo que cada ladrillo tiene dimensiones de 12x6x25 cm y un precio unitario de \$316 pesos.

Cantidad: 48 m³

Costo: 8'426.666 pesos

En conclusión los costos para la construcción de todo lo que tiene que ver con obra civil incluyendo la mano de obra de los ayudantes de albañilería es:

COSTO TOTAL OBRA CIVIL: 29'795.063 pesos.

8.1.2 Costo sistema de transporte de fluidos.

Como se puede observar en el diseño definitivo del regenerador los gases provenientes del horno hacia los tanques almacenadores son llevados por el mismo sistema de túneles existente en la empresa actualmente, en esta sección tendremos en cuenta solo el sistema de transporte de fluidos desde la salida del tanque almacenador a la salida de los gases por la chimenea. El sistema de transporte del aire a los secaderos se asemeja al de la entrada de los gases de combustión a los tanques y se conforma por un sistema de túneles que conecta los tanques almacenadores con los túneles del sistema de secado y que fueron en la sección anterior cotizados.

El sistema de retorno de los gases de combustión a la chimenea desde los tanques almacenadores cuenta con las siguientes características:

- TUBERIA: Tubo de acero al carbón ASTM A106 diámetro nominal 20" sch 10.

La selección del material se acomoda perfectamente debido a las bajas temperaturas a la salida del almacenador.

Cantidad: 12 m

Costo x 6 m: 2'814.000 pesos

Total: 5'628.000 pesos

- CODOS: Codos de acero al carbón ASTM A106 diámetro nominal 20" sch 10 a 90°.

Cantidad: 4 codos

Costo unidad: 580.000 pesos

Total: 2'320.000 pesos

- TEE: Tee 20" de acero al carbón ASTM A106.

Cantidad: 1

Costo: 598.000 pesos

- VÁLVULAS: De acuerdo al diseño definitivo del sistema de regeneración y con el fin de presentar una solución más económica para la empresa se seleccionaron válvulas mariposa de 20" de diámetro nominal con actuador manual clase 150.

Cantidad: 2 válvulas

Costo unidad: 2'985.000 pesos

Total: 5'970.000 pesos

- COMPUERTAS DE CONTROL DE FLUO: Las láminas de control de flujo son las que se encuentran en las bases de los tanques almacenadores y son las encargadas de controlar el flujo de gases y de aire en los almacenadores hacia los túneles de transporte, sus dimensiones son las siguientes: 2.1 x 1.3 m de largo y ancho y un espesor de 9 mm. Para su construcción se cotizo una lámina de dimensiones 1.83 x 6.09 m de material acero ASTM A-36.

Cantidad de compuertas: 4

Cantidad de láminas de construcción: 2

Costo unidad lamina: 1'323.369,60 pesos

Total: 2'646.739,2 pesos

- VENTILADOR: Para el sistema de regeneración se seleccionó un ventilador GREENHECK modelo 21-IPA, para 13,560 cfm, 4,62 sp, motor de 20 hp, odp, 1169 frpm, 230 volt / 3f / 60 Hz.

Cantidad: 1

Costo en dólares: 11.625 dólares

Costo en pesos: 23'250.000 pesos

COSTO TOTAL SISTEMA DE TRANSPORTE: 40'412.736,2 pesos

8.1.3 Sistemas auxiliares.

Los sistemas auxiliares del sistema de regeneración son los siguientes:

- PUERTAS DE INSPECCIÓN Y LLENADO: El almacenador cuenta con 4 compuertas, 1 al costado y 3 en la parte superior, para el llenado y la posterior inspección de la matriz, estas compuertas tienen un tamaño de 800 x 600 mm. Para la construcción de estas compuertas utilizaremos una lámina de dimensiones 1.83 x 6.09 m de material acero ASTM A-36.

Cantidad: 1 lamina de 1.83 x 6.09 m

Costo: 1'323.369,60 pesos

- ESCALERA: Para su construcción se optó por un perfil cuadrado de agua negra ¾" calibre 20.

Cantidad: 12 m

Costo x 6 m: 16.380 pesos

Total: 32.760 pesos

- **BARANDA DE SEGURIDAD:** Para su construcción se requieren de 24 metros de Perfil cuadrado de 1" calibre 18 de acero estructural AISI A-36.

Cantidad: 24 m

Costo x 6 m: 12.069 pesos

Total: 48.276 pesos

TOTAL SISTEMAS AUXILIARES: 1'404.405,6 pesos

TOTAL INVERSION: 71'612.204,8 pesos

8.2 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA ENERGÍA RECUPERADA

Actualmente el carbón que usan en los hornos colmena de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S este carbón proviene de Tópaga Boyacá y tiene un costo de 178.000 pesos por tonelada, estudios hechos en la Universidad Industrial de Santander determinaron el poder calorífico de este combustible, obteniendo que el poder calorífico del carbón utilizado en la empresa Ladrillo y Acabados S.A.S. es de 19 291,74 BTU/lb.

El sistema al recuperar 142 338 527.17 BTU (41 715.3 KW) de los gases de combustión y teniendo que el poder calorífico del carbón es de 19 291,74 BTU/lb tenemos que la empresa Ladrillo y Acabados S.A.S está recuperando 7 378.2 lb (3 ton) de carbón lo que equivale teniendo un precio de 178 000 pesos por tonelada de carbón a una recuperación de 534 000 pesos por periodo de funcionamiento de los hornos colmena.

Para obtener un análisis sencillo del tiempo en el cual se recupera la inversión se tiene en cuenta que la implementación del sistema recuperador de energía suplirá en la planta el uso de la hornilla que se utiliza para generar aire caliente mediante la quema de carbón, y según Ana Carolina Medina en su libro Diseño de un sistema para la recuperación de calor residual en los gases de combustión de los hornos colmena en la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S. el total anual del costo del carbón utilizado por esta hornilla es de 19'600.000 pesos.

Utilizando el criterio del valor presente neto se trasladan los ingresos futuros a la actualidad para evaluar la rentabilidad y el tiempo en el cual se recupera la inversión y se obtienen los resultados a partir de la siguiente ecuación:

$$VPN = \sum_{t=0}^T \left(\frac{BN_t}{(1+i)^t} \right) \quad (66)$$

Donde:

BN_t = *beneficio neto en el periodo t*

i = *tasa de interés de oportunidad por periodo*

t = *1,2,3, ..., T, tiempo.*

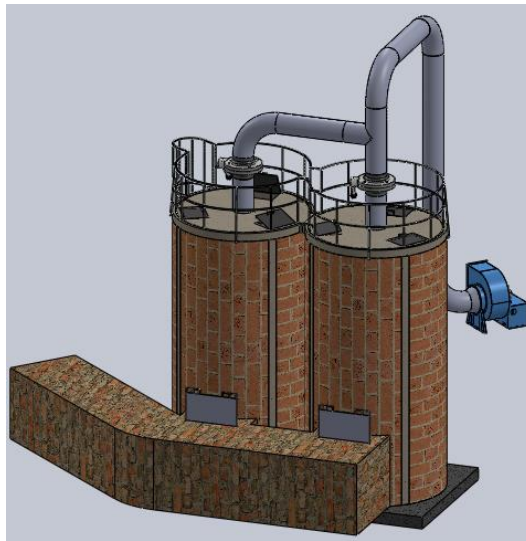
Con una tasa de interés de 4.98% anual se obtiene que:

- A los 5 años de vida útil la equivalencia presente de los ingresos netos futuros son de 84'900.000 pesos superando en este momento en 13'287.795.2 pesos al valor de la inversión.
- El tiempo de retorno de la inversión se encuentra aproximadamente en 50 meses es decir 4.16 años.

Como observación se debe enunciar que éste análisis no tiene en cuenta algunos costos como los de mantenimiento y operación, y que además tampoco se tiene en cuenta la ganancia que produce obtener mayor cantidad de material seco es decir la ganancia producto de la disminución de los tiempos de producción. Este análisis pretende dar una idea de cuál es el tiempo aproximado de la recuperación de la inversión ya que para un análisis más detallado se deben tener en cuenta más factores como la depreciación, impuestos e incluso variaciones en las tasas de interés.

CONCLUSIONES

- ❖ Se diseñó un sistema de recuperación continua de energía residual producto de los gases exosto de los hornos colmena de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S durante las etapas de quema plena y enfriamiento, el cual consiste en un intercambiador de calor de contacto indirecto (tipo almacenamiento) constituido por un conjunto de recipientes en paralelo rellenos de una matriz cerámica que como resultado del análisis pertinente se obtuvieron las siguientes características geométricas y operativas del sistema:



- a. Dos tanques de 3 y 6.5 metros de diámetro y altura respectivamente de los cuales 2.5 metros de la longitud estarán bajo tierra.
- b. Ductos subterráneos como los ya existentes en la empresa de 80 x 80 cm que conectan al sistema ya instalado para de los gases de los hornos y el posterior envío de aire caliente a los secaderos.

- c. Sistema de tuberías de 20 pulgadas de diámetro nominal que transporta los gases nuevamente a la chimenea después de aprovechar el calor.
 - d. Dos válvulas de mariposa de 20 pulgadas diámetro nominal y clase 150 con actuador manual que regula la operación alternada de los tanques.
 - e. Ventilador centrifugo marca GREENHECK seleccionado para un máximo caudal de 13560 CFM y un diferencial de presión de 4.62 in agua con un motor que opera a 1109 rpm y un consumo de potencia de 19.98 HP.
 - f. La operación total del sistema según lo diseñado es de 2 horas en donde el tiempo de almacenamiento de un tanque es de 1 hora y después de alternar con el otro, el tiempo de recuperación comprende también 1 hora.
- ❖ Con el diseño realizado se garantiza que la temperatura necesaria para el proceso de secado esté disponible durante todo el periodo de funcionamiento de los hornos colmena, debido a que según el análisis realizado el aire presenta un comportamiento que varía entre 150°C y 400°C y los valores requeridos para secar el producto deben estar entre 50°C y 110°C.
 - ❖ Se rediseño el sistema de transporte de fluidos adaptando un ventilador centrifugo marca GREENHECK seleccionado para un máximo caudal de 13560 CFM y un diferencial de presión de 4.62 in agua con un motor que opera a 1109 rpm y un consumo de potencia de 19.98 HP que en la línea que conecta con la chimenea que permite:
 - a. Compensar las pérdidas de presión del sistema regenerador.
 - b. Mantener el flujo de los gases de combustión en el mismo nivel que el dado por el tiro de la chimenea antes de la adaptación del nuevo sistema, evitando así problemas en la combustión al interior de los hornos colmena.
 - ❖ Se observó en el análisis que la temperatura a la salida de la chimenea luego de recuperar la energía en el intercambiador de calor alcanza unos niveles que oscilan entre 50°C y 100°C lo que permite cumplir con la resolución 909 del 5 de

junio del 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en su capítulo X donde especifica los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria y de arcilla que especifica un límite admisible de temperatura de los gases a la salida de la chimenea establecido en 250°C durante la etapa de máximo consumo de combustible.

- ❖ El diseño realizado permite la recuperación de 41 715.3 KW de potencia proveniente de los gases de exosto de los hornos colmena de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S. que estaban siendo lanzados al ambiente, para ser utilizados en el proceso de secado artificial.

- ❖ Se rediseño el sistema de secado de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S. el cual aprovecha el calor recuperado por el sistema de regeneración adaptado a la planta y cuenta con las siguientes características:
 - a. Funcionamiento de los 3 secaderos existentes en operación continua.
 - b. Flujo continuo de material en el sistema de secado.
 - c. Aumento del 200% de producto seco para un posterior proceso de cocción.

- ❖ El diseño realizado permite un ahorro de 534 000 pesos en carbón por periodo de funcionamiento de los hornos colmena de la empresa Ladrillos y Acabados S.A.S. debido al calor recuperado de los gases de combustión para su utilización en el proceso de secado.

RECOMENDACIONES

- ❖ Para la selección de la geometría de la estructura de los tanques no se realizó un diseño detallado sino que simplemente se dieron las dimensiones necesarias para que el sistema cumpliera las necesidades que se propusieron, pero si se tuvieron en cuenta ciertas recomendaciones básicas de ingeniería civil. Debido a esto se recomienda llegado el caso de que la empresa tome la decisión de construirlo realizar los estudios pertinentes de los suelos donde se va a ubicar el sistema para realizar la construcción adecuada de las bases que garanticen la estabilidad de la estructura.
- ❖ El diseño del sistema está pensado para que el costo de inversión sea el menor posible así que se utilizaron materiales económicos y de fácil adquisición, por lo tanto no se utilizó ningún sistema de control, pero para mejor funcionamiento en un futuro se recomienda la instalación de un conjunto de tuberías y válvulas con actuadores que permitan un control de las entradas y salidas de gases y aire para obtener un funcionamiento autónomo del sistema durante toda la operación.
- ❖ Se recomienda el uso de un control automático en la cámara de mezcla del aire caliente recuperado con el aire a temperatura ambiente para garantizar la temperatura adecuada dentro de los secaderos y permita el debido comportamiento del proceso y no se presenten fracturas en el material.

BIBLIOGRAFÍA

BIRD, R; STEWART, W & LIGHTFOOT, E. Fenómenos de transporte, 1^{ra} edición. Barcelona, España: Reverté S.A. 1992.

CONSTRUDATA: Informe especial infraestructura I, Colombia: Legis. 2012.

DINCER, I. & ROSEN, M. Thermal energy storage: Systems and applications. 2^{da} edición. Ontario, Canadá: John Wiley & Sons, 2011. p 51-187.

División de ingeniería de CRANE Manual: Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. Universidad de Guadalajara: McGraw-Hill. 16- 42p.

DUFFIE, J. & BECKMAN, W. Solar engineering of thermal processes, 2^{da} edición. Madison, Wisconsin: John Wiley & Sons. P 393-400.

Empresa colombiana de carbón LTDA: Hornos ladrilleros a carbón. Medellín, Colombia: Editorial Universidad Pontificia Bolivariana. 1998. 133p.

HOWELL, J; BANNEROT, R. & VLIET, G. Solar thermal energy systems: Analysis and Design. Universidad de Texas, Austin: McGraw-Hill. 1982. p 173-177.

KUPPAN, T. Heat exchanger design handbook, 1^{ra} edición. New York: Marcel Dekker. 2000. P 303-346.

MANTILLA, S. & ARDILA, L. Desarrollo de una propuesta de optimización energética de los hornos colmena de la empresa ladrillos y acabados S.A.S. Bucaramanga, 2011. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

MARADEY, Juan Francisco. Termodinámica Aplicada. Bucaramanga: Editorial UIS, 2001. p 224-228.

MEDINA, A. diseño de un sistema para la recuperación del calor residual en los gases de combustión de los hornos colmena en la empresa ladrillos y acabados S.A.S. Bucaramanga, 2013. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

MILLS, A. Transferencia de calor. University of California, Los Angeles: McGraw-Hill, 1997. 932p.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 909: normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas. Colombia, 2008.

RAMESH, S. & DUSAN, S. Fundamentals of heat exchangers design, 1ra edición. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. p 308-376.

ANEXOS

Anexo A. COTIZACIONES



QUOTE 1-QT-0118-14-02

Calle 128A No. 57 C 13
 Tel: 6179140 - Fax: 2267329
www.saeg.com
 8012 NW 68th street, Miami, FL, 3316
 Tel: 305-718-8146 - Fax: 305-718-957

To: LADRILLOS & ACABADOS
 Attn: Ing. WILMAN ORTIZ
 Tel:
 Ref: COTIZACION VENTILADOR

Date: 04-feb-14
 Country: BOGOTA - COLOMBIA
 FC: 3-4 WKS

We are pleased to quote the following material as per your kind request:

Item	Qty	Description	Unit Price	Extended Price
		GREENHECK		
1	1	VENTILADOR MODELO 21-IPA, PARA 13,560 CFM, 4,62 SP, MOTOR DE 20 HP, ODP, 1169 FRPM, 230 VOLT / 3F / 60 HZ	\$11.625	\$11.625
			SubTotal	USD \$11.625
TIEMPO DE ENTREGA 8-10 SEMANAS TOTAL EN DOLARES AMERICANOS				
			Total	USD \$11.625
DDP - BOGOTA ZONA FRANCA				

TERMINOS Y CONDICIONES COMERCIALES
 FORMAS DE PAGO:

- 50% ANTICIPO DEL VALOR DE LA ORDEN PARA SER PROCESADA, EL CUAL SE LIQUIDARA A LA TRM VIGENDE EL DIA QUE SE RECIBE Y APRUEBA LA ORDEN DE COMPRA POR PARTE DE SAEG. 50% RESTANTE CONTRA AVISO DE NACIONALIZACIÓN DE EQUIPOS, EL CUAL SE LIQUIDARA A LA TRM REGISTRADA EN LA DECLARACION DE IMPUESTOS DE NACIONALIZACION.
 - LOS PRECIOS PRESENTADOS NO INCLUYEN IVA.
 - PARA EQUIPO CON DISPONIBILIDAD INMEDIATA (STOCK SAEG COLOMBIA) EL PAGO DE LA ORDEN DEBE SER 100% CONTADO.
- LA CANCELACIÓN DE ORDENES DE COMPRA DESPUÉS DE 5 DIAS DE RECIBIDA TENDRA UN CARGO DEL 15% POR RE-STOCKING DE LOS EQUIPOS. ESTE MONTO SERA DEBITADO DE SU ANTICIPO.
- OTROS
- SAEG NO ASUMIRA COSTOS POR DAÑOS PRESENTADOS DURANTE EL TRANSPORTE LOCAL OCASIONADOS POR ROTURAS Y MALA MANIPULACIÓN, SALVO ACLARACIÓN EXPRESA DEL TRANSPORTADOR AL MOMENTO DEL RECIBO DE LOS EQUIPOS.
 - TODO CAMBIO EN LA ORDEN DE COMPRA EN CANTIDADES O ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS O EQUIPOS, DEBEN SER NOTIFICADOS POR EL CLIENTE EN UN TERMINO NO SUPERIOR A 5 DIAS DE PROCESADA LA ORDEN Y SERA RE-LIQUIDADA, CON CARGOS AL CLIENTE.
 - LOS TIEMPOS DE ENTREGA ESTIMADOS EN LA PRESENTE COTIZACIÓN ESTAN DE ACUERDO A LO ESTIPULADO POR CADA UNA DE LAS FABRICAS. LOS CAMBIOS Y DEMORAS QUE SE PUEDAN PRESENTAR OCASIONADAS POR SITUACIONES AJENAS A SAEG



QUOTE 1-QT-0118-14-02

Calle 128A No. 57 C 13

Tel: 6179140 - Fax: 2267329

www.saeg.com

8012 NW 68th street, Miami, FL, 3316

Tel: 305-718-8146 - Fax: 305-718-957

To: LADRILLOS & ACABADOS

Attn: Ing. WILMAN ORTIZ

Tel:

Ref: COTIZACION VENTILADOR

Date: 04-feb-14

Country: BOGOTA - COLOMBIA

FC: 3-4 WKS

ENGINEERING GROUP, NO IMPLICAN MODIFICACIONES A LAS CONDICIONES COMERCIALES.

4. LOS TIEMPOS DE ENTREGA SON CONTADOS A PARTIR DE HABER RECIBIDO LA ORDEN DE COMPRA DEBIDAMENTE DILIGENCIADA ACEPTANDO Y CUMPLIENDO LOS TERMINOS COMERCIALES ESTABLECIDOS Y RELACIONANDO EL NUMERO DE LA COTIZACION.

VIGENCIA

1. LA VIGENCIA DE ESTA Cotización ES A UN TERMINO DE TREINTA (30) DIAS CONTADOS A PARTIR DE LA FECHA DE ENVIO DE LA MISMA.

MARIA CONSTANZA MORENO

SAEG COLOMBIA

Ajustar una página entera a la ventana



COTIZACION No 005

Fecha Factura	Fecha Vencimiento
D M A	D M A
29 01 2014	29 01 2014

FORMA DE PAGO : COTIZACION

CLIENTE: WILMAN ORTIZ
NIT :
TEL : 3165401652
DRIC :
BARRIO :
CIUDAD : BUCARAMANGA

Cotizacion Dan No 4000186411 Del 2014/01/29 00:00:0001

facta 00 5000

Autorización por computador

REGIMEN COMUN NO SOMOS RETENEDORES DE IVA

COD	CAN	DESCRIPCION	VR. UNITARIO	VALOR TOTAL
	6	METROS TUBO 20" STD CON COSTURA	\$ 469.000	\$ 2.814.000
	1	TEE 20" A/C	\$ 598.000	\$ 598.000
	1	CODDO 20" A/C	\$ 580.000	\$ 580.000
	1	VALVULA 20" MARIPOSA CLASE 150	\$ 2.985.000	\$ 2.985.000
			VALOR	\$ 6.977.000
			IVA 16%	\$ 1.116.320
			TOTAL	\$ 8.093.320

 Firma y sello o C.C comprador

ANDRES SUAREZ
 firma y sello vendedor

La mercancía viaja por cuenta del comprador. este documento se estriba en todas sus efectos legales a una letra de cambio según 40774 del Código de Comercio. Expreso e irrevocable autorizo para que se cobren de cualquier fuente, y se reporte a cuales quiera de bancos de datos, la información de mi comportamiento y crédito comercial, y en general del cumplimiento de mis obligaciones. se hace constar que la firma de persona distinta al comprador supone que dicha persona está autorizada por el comprador para firmar y confirmar la deuda y cobro al comprador que recibe real y material las mercancías descritas arriba a satisfacción.

STECKERL ACEROS S.A.S.

NIT: 900 499 032 - 2

Dir :CALLE 24 No 10-30 Tel: (097) 633-1551 Fax :(097) 633-3861

BUCARAMANGA - SANTANDER (COLOMBIA)



STECKERL Aceros

COTIZACIÓN - 30COT2014000320

Cotizado a	Datos de la Transacción	Doc. Origen
1098690441 CRISTIAN CAMILO BUENO DURAN CR 10 8 63 FLORIDABLANCA-SANTANDER (301) 373-3252 Ext. 0000	Orden de Compra: Condición Pago: CONTADO Id. vendedor: SANDRAG Modo de envío: CLIENTE RECOGE Fecha Entrega: 01/01/1900	Fecha: 29/01/2014 Fecha Venc.: 29/01/2014 Elaborado por: SANDRAG Enviar a: CRISTIAN CAMILO BUENO DURAN CR 10 8 63 FLORIDABLANCA

Cantidad	Peso	Peso Extendido	Descripción	UM	Bga	Precio Kilo	Precio Unidad	Valor Extendido
1	787.72	787.72	LAM HR 9MM 6 x 20' A-36	UN	30	\$1,680	\$1,323,369.60	\$1,323,369.60
4	5.50	22.00	TUBO CR CUAD 1" CAL 18 x 6MTS	UN	30	\$2,194	\$12,069.00	\$48,276.00
2	3.13	6.26	TUBO CR CUAD 3/4" CAL 20 x 6MTS	UN	30	\$5,233	\$16,380.00	\$32,760.00

PRECIOS SUJETOS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO.
EXISTENCIAS SUJETAS A VENTAS.

FAVOR CONSIGNAR EN LA CUENTA AHORR. 4192252232 BANCO COLPATRIA.
Firma y fecha de aceptación STECKERL ACEROS S.A.S.

UN MILLÓN SEISCIENTOS VEINTINUEVE MIL
CIENTO DIEZ Y 60 CENTAVOS

Subtotal	\$ 1,404,405.6
Dto. Comercial:	\$ 0.0
Flete:	\$ 0.0
IVA:	\$224,705.0
Rete Iva :	\$0.0
Rete Fuente:	\$0.0
Total a pagar:	\$ 1,629,110.6
Peso Total	815.9

MAMPOSTERÍA

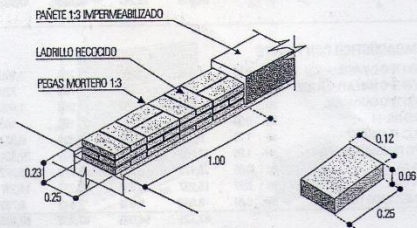
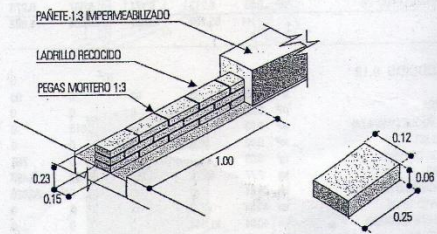
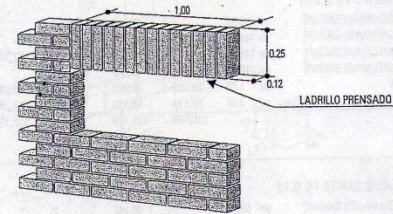
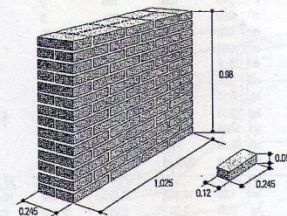
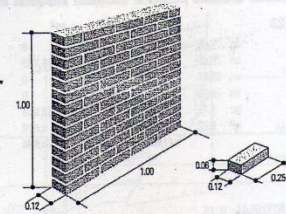
ANÁLISIS	UM	CANT	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN
MURO TOLETE COMÚN 0.12 m ²						
LADRILLO BOCADILLO RECOCIDO	un	55.00	0	0	0	28,050
LADRILLO LIMPIO 10-29	un	55.00	0	31,825	0	0
LADRILLO TOLETE RECOCIDO	un	55.00	15,950	0	0	0
MANO DE OBRA AA	hc	0.75	12,368	12,368	12,368	12,368
TOLETE RECOCIDO	un	55.00	0	0	33,000	0
MORTERO 1:4	m ³	0.02	6,320	5,215	4,619	4,673
			34,637	49,208	49,987	45,090

ANÁLISIS	UM	CANT	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN
MURO TOLETE COMÚN 0.25 m ²						
LADRILLO BOCADILLO NATURAL	un	118.00	0	0	0	60,180
LADRILLO COMÚN RECOCIDO	un	118.00	0	0	57,820	0
LADRILLO LIMPIO 10-29	un	118.00	0	67,850	0	0
LADRILLO TOLETE COMÚN	un	118.00	38,940	0	0	0
MANO DE OBRA AA	hc	1.37	22,591	22,591	22,591	22,591
MORTERO 1:4	m ³	0.03	9,479	7,823	6,929	7,009
			71,011	98,264	87,340	89,781

ANÁLISIS	UM	CANT	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN
REMATES LADRILLO PRENSADO m						
AGUA	lt	1.75	35	35	0	35
ARENA DE PEÑA	m ³	0.01	600	0	0	0
ARENA DE REVOCUE (AMARILLA)	m ³	0.01	0	0	272	0
ARENA FINA 5 M3	m ³	0.01	0	378	0	0
ARENA LAVADA DE PEÑA	m ³	0.01	0	0	0	255
CEMENTO GRIS	kg	2.94	1,617	1,411	1,323	1,323
LADRILLO LIMPIO 7X10X24	un	16.00	0	7,680	0	0
LADRILLO PRENSADO MACIZO SANTAFÉ	un	15.85	0	0	0	13,790
LADRILLO PRENSADO MACIZO SANTAFÉ	un	16.00	11,408	0	0	0
MANO DE OBRA AA	hc	0.88	14,511	14,511	14,511	14,511
TOLETE ESTRUCT.	un	16.00	0	0	9,200	0
			28,171	24,015	25,306	29,914

ANÁLISIS	UM	CANT	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN
SOBRECIMENTOS 0.15 m						
AGUA	lt	4.63	93	93	0	93
ARENA DE REVOCUE	m ³	0.03	0	0	0	750
ARENA FINA	m ³	0.03	0	1,133	0	0
ARENA LAVADA (ARROYO DE PIEDRA)	m ³	0.03	0	0	1,185	0
ARENA LAVADA DE PEÑA	m ³	0.03	905	0	0	0
CEMENTO GRIS	kg	11.69	6,430	5,611	5,261	5,261
LADRILLO BOCADILLO RECOCIDO	un	12.10	0	0	0	6,171
LADRILLO COMÚN	un	12.10	0	6,413	0	0
LADRILLO TOLETE RECOCIDO	un	12.10	3,509	0	0	0
MANO DE OBRA AA	hc	0.80	13,192	13,192	13,192	13,192
SIKA-2 (6.5 KG)	kg	0.35	3,395	3,395	3,395	3,395
TOLETE RECOCIDO	un	12.10	0	0	7,260	0
			27,523	29,836	30,293	28,661

ANÁLISIS	UM	CANT	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN
SOBRECIMENTOS 0.25 m						
AGUA	lt	7.04	141	141	0	141
ARENA DE REVOCUE	m ³	0.04	0	0	0	1,000
ARENA FINA	m ³	0.04	0	1,510	0	0
ARENA LAVADA (ARROYO DE PIEDRA)	m ³	0.04	0	0	1,580	0
ARENA LAVADA DE PEÑA	m ³	0.04	1,206	0	0	0
CEMENTO GRIS	kg	17.77	9,774	8,530	7,997	7,997
LADRILLO BOCADILLO RECOCIDO	un	24.21	0	0	0	12,347
LADRILLO COMÚN	un	24.21	0	12,831	0	0
LADRILLO TOLETE RECOCIDO	un	24.21	7,021	0	0	0
MANO DE OBRA AA	hc	1.12	18,469	18,469	18,469	18,469
SIKA-2 (6.5 KG)	kg	0.53	5,141	5,141	5,141	5,141
TOLETE RECOCIDO	un	24.21	0	0	14,526	0
			41,751	46,822	47,712	45,994

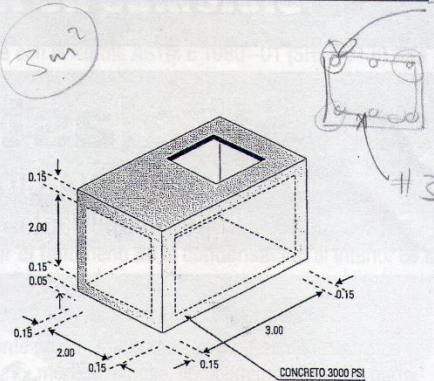


**DETALLADOS
GENERALES**

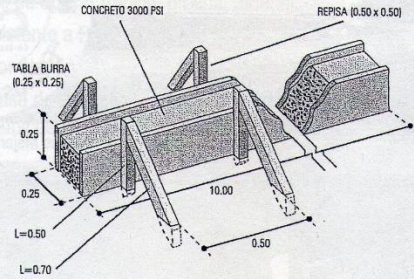
ESTRUCTURAS EN CONCRETO

$A = \frac{20}{10}$

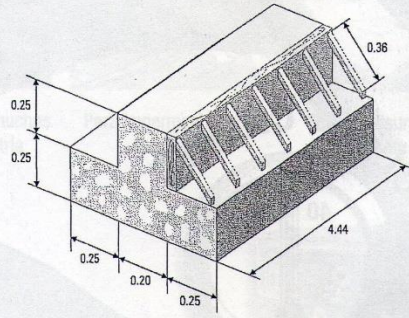
ANÁLISIS	UM	CANT	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN
TANQUE SUBTERRÁNEO						
CONCRETO CORR. GRAVA COMÚN 2000 PSI	m³	0.09	24,116	27,666	26,712	19,494
CONCRETO CORR. GRAVA COMÚN 3000 PSI	m³	1.10	295,935	265,188	338,140	265,848
FORMALETA ENTREPISOS	ms	2.53	11,486	11,486	17,457	11,486
MANO DE OBRA AA	hc	11.95	197,056	197,056	197,056	197,056
PUNTILLA CON CABEZA 2"	lb	2.12	6,572	6,572	7,208	6,572
TABLA BURRA ORDINARIO 0.30	m	0.76	7,296	0	0	0
TABLA DE CIERRE ORDINARIO 0.30	m	0.76	0	0	8,360	0
TABLA DE PULGADA ORDINARIO 0.30	m	0.76	0	0	0	7,980
TABLA OTOBO 0.30	m	0.76	0	1,900	0	0
VARA DE CLAVO	m	0.47	1,968	0	0	0
VARA DE CLAVO	m	0.47	0	2,115	0	0
VARA DE CLAVO	m	0.47	0	0	1,692	0
VARA DE CLAVO	m	0.47	0	0	0	1,739
VIBRADOR A GASOLINA	d	0.04	1,443	1,200	1,443	1,443
			545,862	513,183	598,067	511,618



VIGA AMARRE CONCRETO ESTRUCTURAS						
	UM	CANT	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN
CONCRETO CORR. GRAVA COMÚN 2500 PSI	m³	1.10	331,100	291,922	290,400	292,392
CUARTÓN OTOBO 2"X4" 2.9	m	3.11	0	21,846	0	0
LARGUERO DE 2" X 4"	m	3.11	0	0	0	24,569
LISTÓN ABARCO 3 M	m	3.11	0	0	22,392	0
MANO DE OBRA AA	hc	6.89	113,616	113,616	113,616	113,616
PUNTILLA CON CABEZA 2"	lb	1.47	4,557	4,557	4,998	4,557
REPISA ORDINARIO 3 M	m	3.11	14,617	0	0	0
TABLA BURRA ORDINARIO 0.30	m	3.52	33,792	0	0	0
TABLA DE CIERRE ORDINARIO 0.30	m	3.52	0	0	38,720	0
TABLA DE PULGADA ORDINARIO 0.30	m	3.52	0	0	0	36,980
TABLA OTOBO 0.30	m	3.52	0	8,800	0	0
UNIÓN PVC SANTIT 2"	un	0.40	569	569	569	569
			498,251	441,110	470,695	472,653

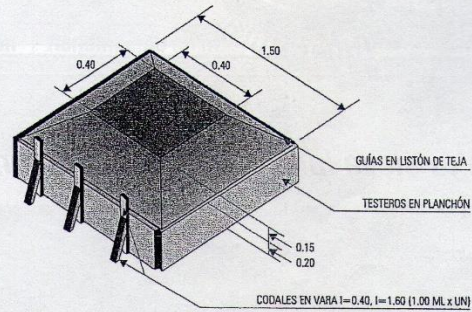


VIGA TEE 25X25X20X60						
	UM	CANT	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN
CONCRETO CORR. GRAVA COMÚN 3000 PSI	m³	1.10	295,935	265,188	338,140	265,848
CUARTÓN OTOBO 2"X4" 2.9	m	2.63	0	18,305	0	0
DURIMIENTE 3 M	m	2.63	6,181	0	0	0
DURIMIENTE 3 M	m	2.63	0	0	9,994	0
LARGUERO COMÚN 3.5X7.5X3 M	m	2.45	0	0	0	8,575
LARGUERO ORDINARIO 3 M	m	2.63	0	0	0	12,624
MANO DE OBRA AA	hc	8.57	147,915	147,915	147,915	147,915
PUNTILLA CON CABEZA 2"	lb	0.70	2,170	2,170	2,380	2,170
TABLA CHAPA ORDINARIO 0.30	m	2.45	5,880	0	0	0
TABLA OTOBO 0.30	m	2.45	0	6,125	0	0
TABLÓN CATIVO 0.30	m	2.45	0	0	8,330	0
VIBRADOR A GASOLINA	d	0.04	1,443	1,200	1,443	1,443
			459,524	440,903	508,202	438,575



DETALLADOS GENERALES

ZAPATAS ESTRUCTURAS						
	UM	CANT	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN
CONCRETO CORR. GRAVA COMÚN 3000 PSI	m³	1.03	277,103	248,312	316,622	248,930
LISTÓN MONTERREY	m	3.00	0	0	4,500	0
LISTÓN DE ORDINARIO	m	3.00	0	0	0	7,050
LISTÓN OTOBO 2CMX2CM	m	3.00	0	3,480	0	0
MANO DE OBRA AA	hc	8.27	136,372	136,372	136,372	136,372
PLANCHÓN ORDINARIO 3 M	m	3.00	28,200	0	0	0
PUNTILLA CON CABEZA 2"	lb	0.10	310	310	340	310
TABLA CHAPA ORDINARIO 0.30	m	3.00	7,200	0	0	0
TABLA DE 2 CM X 10"	m	3.00	0	0	0	25,100
TABLÓN CATIVO 0.30	m	3.00	0	0	10,200	0
TABLÓN OTOBO 3 M	m	3.00	0	52,200	0	0
VARA DE CLAVO	m	0.50	2,083	0	0	0
VARA DE CLAVO	m	0.50	0	2,250	0	0
VARA DE CLAVO	m	0.50	0	0	1,800	0
VARA DE CLAVO	m	0.50	0	0	0	1,850
VIBRADOR A GASOLINA	d	0.10	3,607	3,000	3,607	3,607
			454,875	445,925	473,441	424,220



MORTEROS Y CONCRETOS

MORTEROS Y CONCRETOS

ANÁLISIS	UM. CANT.	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN	
CONCRETO 1:2:2						
AGUA	lt	230.00	4,600	4,600	0	4,600
ARENA AMARILLA PUERTO COLOMBIA	m³	0.74	0	0	20,113	0
ARENA GRUESA 5 M3	m³	0.74	0	36,778	0	0
ARENA LAVADA DE RÍO	m³	0.74	31,080	0	0	0
ARENA LAVADA PARA CONCRETO	m³	0.74	0	0	0	21,310
AYUDANTE ALBAÑILERÍA (A)	hh	2.00	12,138	12,138	12,138	12,138
CEMENTO GRIS	kg	441.00	242,550	211,680	198,450	198,450
GRAVA CANTO RODADO 1/2	m³	0.74	0	0	49,876	0
GRAVILLA DE RÍO	m³	0.74	62,900	0	0	0
GRAVILLA DE RÍO	m³	0.74	0	0	0	27,972
GRAVILLA FINA 1/2" Y 3/4"	m³	0.74	0	25,900	0	0
MEZCLADORA A GASOLINA	d	0.06	1,920	1,920	1,920	1,920
OFICIAL ALBAÑILERÍA (A)	hh	0.50	5,211	5,211	5,211	5,211
		360,369	298,227	287,708	271,600	

ANÁLISIS	UM. CANT.	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN	
CONCRETO 1:2:3						
AGUA	lt	210.00	4,200	4,200	0	4,200
ARENA AMARILLA PUERTO COLOMBIA	m³	0.61	0	0	16,580	0
ARENA GRUESA 5 M3	m³	0.61	0	30,317	0	0
ARENA LAVADA DE RÍO	m³	0.61	25,620	0	0	0
ARENA LAVADA PARA CONCRETO	m³	0.61	0	0	0	17,566
AYUDANTE ALBAÑILERÍA (A)	hh	2.00	12,138	12,138	12,138	12,138
CEMENTO GRIS	kg	367.50	202,125	176,400	165,375	165,375
GRAVA CANTO RODADO 1/2	m³	0.92	0	0	62,008	0
GRAVILLA DE RÍO	m³	0.92	78,200	0	0	0
GRAVILLA DE RÍO	m³	0.92	0	0	0	34,776
GRAVILLA FINA 1/2" Y 3/4"	m³	0.92	0	32,200	0	0
MEZCLADORA A GASOLINA	d	0.06	1,920	1,920	1,920	1,920
OFICIAL ALBAÑILERÍA (A)	hh	0.50	5,211	5,211	5,211	5,211
		329,414	262,386	263,231	241,186	

ANÁLISIS	UM. CANT.	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN	
CONCRETO 1:2:4						
AGUA	lt	305.00	6,100	6,100	0	6,100
ARENA AMARILLA PUERTO COLOMBIA	m³	0.48	0	0	13,046	0
ARENA GRUESA 5 M3	m³	0.53	0	26,341	0	0
ARENA LAVADA DE RÍO	m³	0.53	22,260	0	0	0
ARENA LAVADA PARA CONCRETO	m³	0.53	0	0	0	15,282
AYUDANTE ALBAÑILERÍA (A)	hh	2.00	12,138	12,138	12,138	12,138
CEMENTO GRIS	kg	315.00	173,250	151,200	141,750	141,750
GRAVA CANTO RODADO 1/2	m³	1.05	0	0	70,770	0
GRAVILLA DE RÍO	m³	1.05	89,250	0	0	0
GRAVILLA DE RÍO	m³	1.05	0	0	0	39,690
GRAVILLA FINA 1/2" Y 3/4"	m³	1.05	0	36,750	0	0
MEZCLADORA A GASOLINA	d	0.06	1,920	1,920	1,920	1,920
OFICIAL ALBAÑILERÍA (A)	hh	0.50	5,211	5,211	5,211	5,211
		310,129	239,660	244,835	222,071	

ANÁLISIS	UM. CANT.	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN	
CONCRETO 1:3:3						
AGUA	lt	200.00	4,000	4,000	0	4,000
ARENA AMARILLA PUERTO COLOMBIA	m³	0.79	0	0	21,472	0
ARENA GRUESA 5 M3	m³	0.79	0	39,263	0	0
ARENA LAVADA DE RÍO	m³	0.79	33,180	0	0	0
ARENA LAVADA PARA CONCRETO	m³	0.79	0	0	0	22,750
AYUDANTE ALBAÑILERÍA (A)	hh	2.00	12,138	12,138	12,138	12,138
CEMENTO GRIS	kg	315.00	173,250	151,200	141,750	141,750
GRAVA CANTO RODADO 1/2	m³	0.79	0	0	53,246	0
GRAVILLA DE RÍO	m³	0.79	67,150	0	0	0
GRAVILLA DE RÍO	m³	0.79	0	0	0	29,862
GRAVILLA FINA 1/2" Y 3/4"	m³	0.79	0	27,650	0	0
MEZCLADORA A GASOLINA	d	0.06	1,920	1,920	1,920	1,920
OFICIAL ALBAÑILERÍA (A)	hh	0.50	5,211	5,211	5,211	5,211
		296,849	241,382	235,737	217,630	

ANÁLISIS	UM. CANT.	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN	
CONCRETO 1:3:4						
AGUA	lt	198.00	3,960	3,960	0	3,960
ARENA AMARILLA PUERTO COLOMBIA	m³	0.69	0	0	18,754	0
ARENA GRUESA 5 M3	m³	0.69	0	34,293	0	0
ARENA LAVADA DE RÍO	m³	0.69	28,980	0	0	0
ARENA LAVADA PARA CONCRETO	m³	0.69	0	0	0	19,970
AYUDANTE ALBAÑILERÍA (A)	hh	2.00	12,138	12,138	12,138	12,138
CEMENTO GRIS	kg	273.00	150,150	131,040	122,850	122,850
GRAVA CANTO RODADO 1/2	m³	0.92	0	0	62,008	0
GRAVILLA DE RÍO	m³	0.92	78,200	0	0	0
GRAVILLA DE RÍO	m³	0.92	0	0	0	34,776
GRAVILLA FINA 1/2" Y 3/4"	m³	0.92	0	32,200	0	0

ANÁLISIS	UM. CANT.	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN	
MORTERO 1:1:0						
MEZCLADORA A GASOLINA	d	0.06	1,920	1,920	1,920	1,920
OFICIAL ALBAÑILERÍA (A)	hh	0.50	5,211	5,211	5,211	5,211
		280,559	220,762	222,881	200,724	

ANÁLISIS	UM. CANT.	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN	
CONCRETO 1:3:5						
AGUA	lt	196.00	3,920	3,920	0	3,920
ARENA AMARILLA PUERTO COLOMBIA	m³	0.62	0	0	16,852	0
ARENA GRUESA 5 M3	m³	0.62	0	30,814	0	0
ARENA LAVADA DE RÍO	m³	0.62	26,040	0	0	0
ARENA LAVADA PARA CONCRETO	m³	0.62	0	0	0	17,854
AYUDANTE ALBAÑILERÍA (A)	hh	2.00	12,138	12,138	12,138	12,138
CEMENTO GRIS	kg	241.50	132,825	115,920	108,675	108,675
GRAVA CANTO RODADO 1/2	m³	1.01	0	0	68,074	0
GRAVILLA DE RÍO	m³	1.01	85,650	0	0	0
GRAVILLA DE RÍO	m³	1.01	0	0	0	38,178
GRAVILLA FINA 1/2" Y 3/4"	m³	1.01	0	35,350	0	0
MEZCLADORA A GASOLINA	d	0.06	1,920	1,920	1,920	1,920
OFICIAL ALBAÑILERÍA (A)	hh	0.50	5,211	5,211	5,211	5,211
		267,904	205,273	212,869	187,896	

ANÁLISIS	UM. CANT.	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN	
MORTERO 1:1:0						
AGUA	lt	230.00	4,600	4,600	0	4,600
ARENA DE PEÑA	m³	1.38	82,800	0	0	0
ARENA DE REVOQUE (AMARILLA)	m³	1.38	0	0	37,508	0
ARENA FINA 5 M3	m³	1.38	0	52,095	0	0
ARENA LAVADA DE PEÑA	m³	1.38	0	0	0	35,218
AYUDANTE ALBAÑILERÍA (A)	hh	4.00	24,276	24,276	24,276	24,276
CEMENTO GRIS	kg	174.00	95,700	83,520	79,300	78,300
		207,376	164,491	140,084	142,394	

ANÁLISIS	UM. CANT.	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN	
MORTERO 1:4						
AGUA	lt	240.00	4,800	4,800	0	4,800
ARENA DE PEÑA	m³	1.28	76,800	0	0	0
ARENA DE REVOQUE (AMARILLA)	m³	1.28	0	0	34,790	0
ARENA FINA 5 M3	m³	1.28	0	48,320	0	0
ARENA LAVADA DE PEÑA	m³	1.28	0	0	0	32,666
AYUDANTE ALBAÑILERÍA (A)	hh	4.00	24,276	24,276	24,276	24,276
CEMENTO GRIS	kg	382.00	210,100	183,360	171,900	171,900
		315,976	260,756	230,966	233,642	

ANÁLISIS	UM. CANT.	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN	
MORTERO 1:5						
AGUA	lt	240.00	4,800	4,800	0	4,800
ARENA DE PEÑA	m³	1.32	79,200	0	0	0
ARENA DE REVOQUE (AMARILLA)	m³	1.32	0	0	35,878	0
ARENA FINA 5 M3	m³	1.32	0	49,830	0	0
ARENA LAVADA DE PEÑA	m³	1.32	0	0	0	33,686
AYUDANTE ALBAÑILERÍA (A)	hh	4.00	24,276	24,276	24,276	24,276
CEMENTO GRIS	kg	317.00	174,350	152,160	142,650	142,650
		282,626	231,066	202,804	205,412	

ANÁLISIS	UM. CANT.	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN	
MORTERO 1:6						
AGUA	lt	235.00	4,700	4,700	0	4,700
ARENA DE PEÑA	m³	1.32	79,200	0	0	0
ARENA DE REVOQUE (AMARILLA)	m³	1.32	0	0	35,878	0
ARENA FINA 5 M3	m³	1.32	0	49,830	0	0
ARENA LAVADA DE PEÑA	m³	1.32	0	0	0	33,686
AYUDANTE ALBAÑILERÍA (A)	hh	4.00	24,276	24,276	24,276	24,276
CEMENTO GRIS	kg	274.00	150,700	131,520	123,300	123,300
		258,876	210,326	183,454	185,962	

ANÁLISIS	UM. CANT.	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN	
MORTERO A LAVADA 1:2						
AGUA	lt	250.00	5,000	5,000	0	5,000
ARENA DE REVOQUE	m³	1.07	0	0	0	26,750
ARENA DE RÍO B/QUILLA	m³	1.07	0	0	29,083	0
ARENA DE RÍO BOGOTÁ	m³	1.07	90,950	0	0	0
ARENA DE RÍO CALI	m³	1.07	0	0	50,825	0
ARENA DE RÍO MEDELLÍN	m³	1.07	0	0	0	26,563
ARENA FINA	m³	1.07	0	0	40,393	0
ARENA LAVADA (ARROYO DE PIEDRA)	m³	1.07	0	0	0	42,265
ARENA LAVADA DE PEÑA	m³	1.07	32,271	0	0	0
AYUDANTE ALBAÑILERÍA (A)	hh	4.00	24,276	24,276	24,276	24,276
CEMENTO GRIS	kg	640.00	352,000	307,200	288,000	288,000
		504,497	427,694	383,624	370,589	

ANÁLISIS	UM. CANT.	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN	
MORTERO A LAVADA 1:3						
AGUA	lt	250.00	5,000	5,000	0	5,000
ARENA DE REVOQUE	m³	1.20	0	0	0	30,000
ARENA DE RÍO B/QUILLA	m³	1.00	0	0	0	27,180
ARENA DE RÍO BOGOTÁ	m³	1.00	85,000	0	0	0
ARENA DE RÍO CALI	m³	1.00	0	47,500	0	0

DETALLADOS GENERALES

Continúa



CONSTRUDATA

30 AÑOS

Guía para entrar en el negocio

Panorama: qué hay y qué viene

HidroSogamoso
Túnel de La Línea
Interceptor Tunjuelo-Canoas
Metrocable

INFORME ESPECIAL INFRAESTRUCTURA I

164 SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE 2012 \$77.000

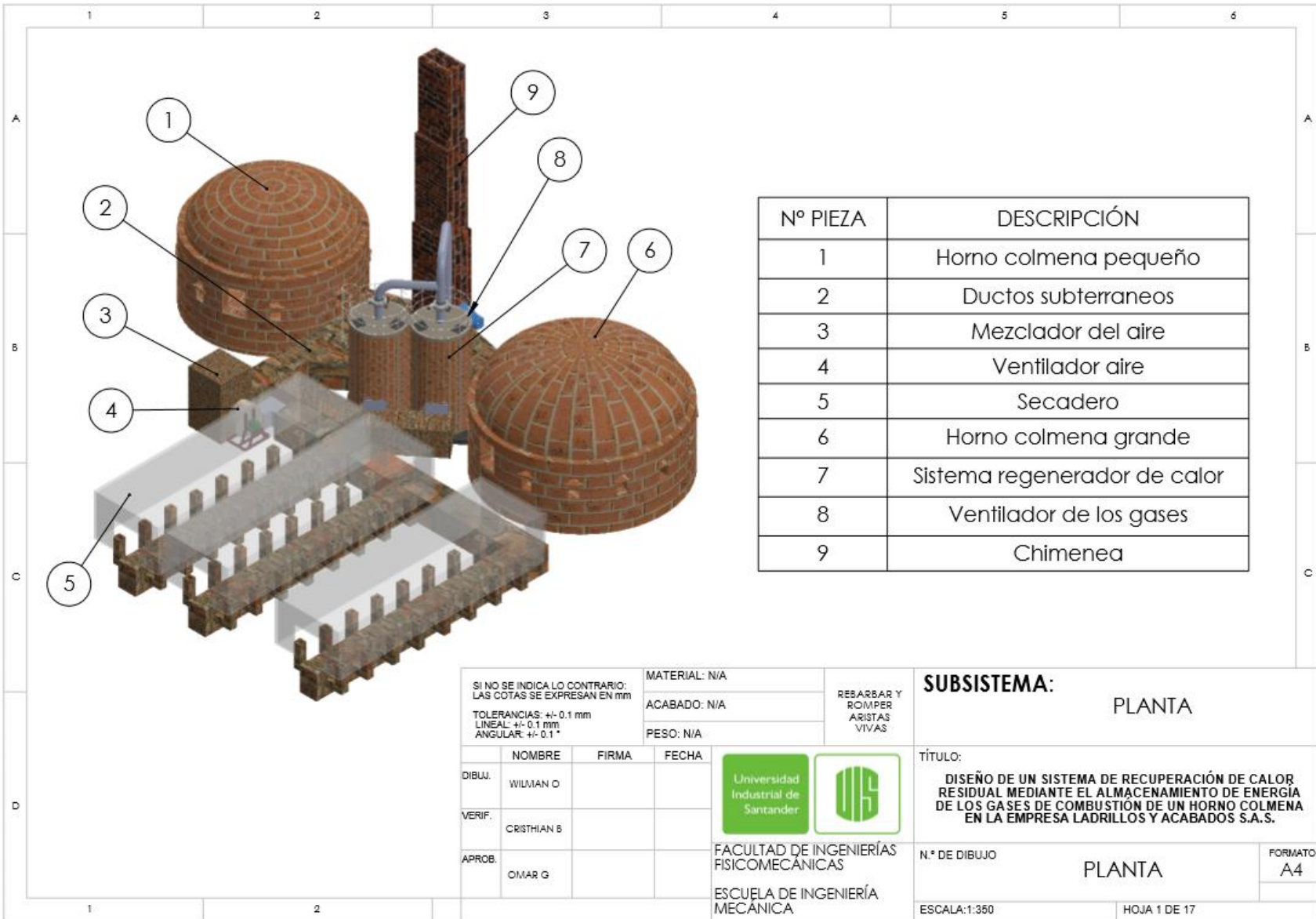
ISSN 0121-5663



9 770121 566066 93



Anexo B. PLANOS



Nº PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	Horno colmena pequeño
2	Ductos subterráneos
3	Mezclador del aire
4	Ventilador aire
5	Secadero
6	Horno colmena grande
7	Sistema regenerador de calor
8	Ventilador de los gases
9	Chimenea

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm
 TOLERANCIAS: +/- 0.1 mm
 LINEAL: +/- 0.1 mm
 ANGULAR: +/- 0.1°

MATERIAL: N/A
 ACABADO: N/A
 PESO: N/A

RESABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

SUBSISTEMA: PLANTA

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	WILMAN O		
VERIF.	CRISTIAN B		
APROB.	OMAR G		

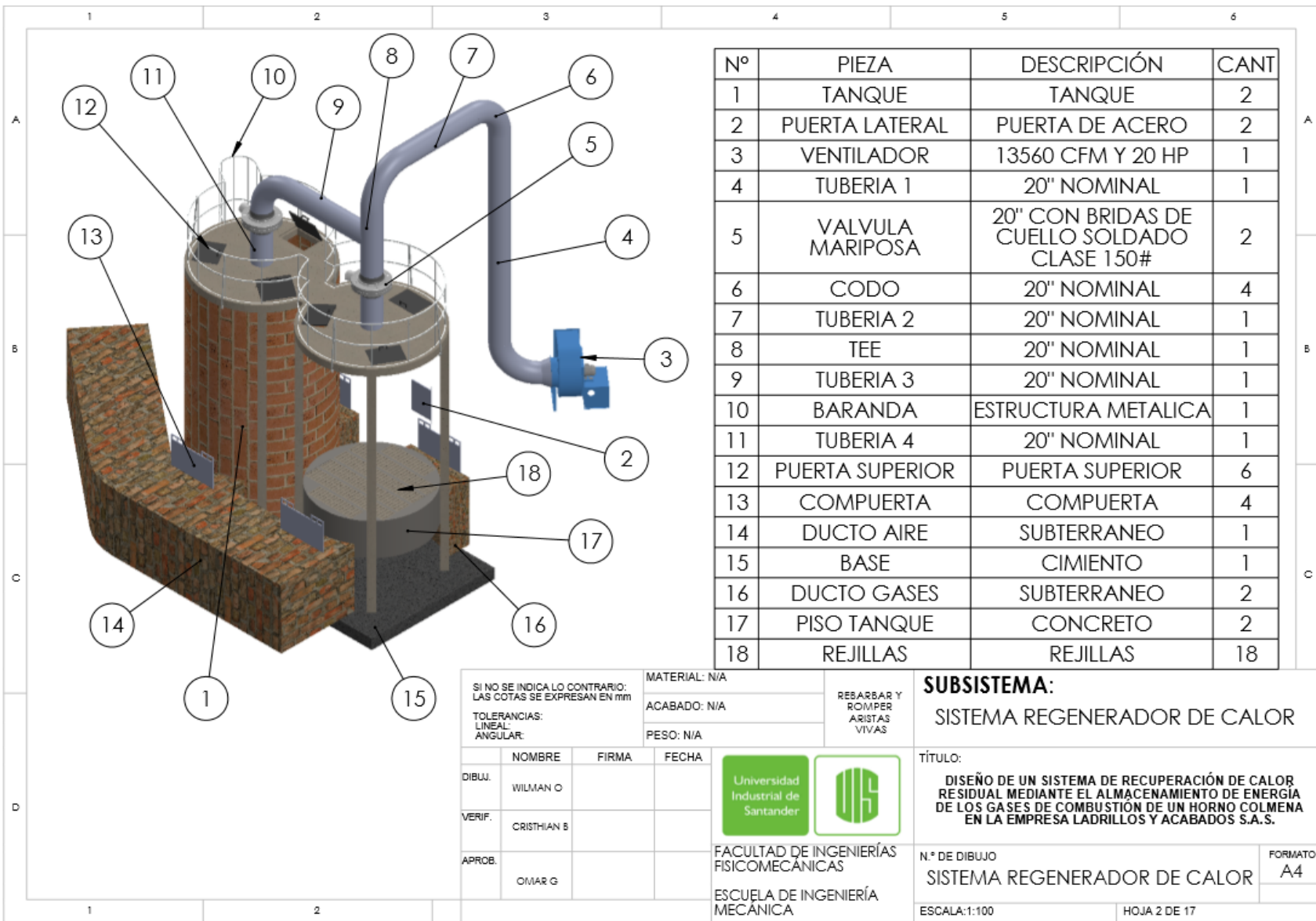


FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECAÑICAS
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TÍTULO:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE UN HORNO COLMENA EN LA EMPRESA LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.

N.º DE DIBUJO: PLANTA
 FORMATO: A4

ESCALA: 1:350 HOJA 1 DE 17



Nº	PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT
1	TANQUE	TANQUE	2
2	PUERTA LATERAL	PUERTA DE ACERO	2
3	VENTILADOR	13560 CFM Y 20 HP	1
4	TUBERIA 1	20" NOMINAL	1
5	VALVULA MARIPOSA	20" CON BRIDAS DE CUELLO SOLDADO CLASE 150#	2
6	CODO	20" NOMINAL	4
7	TUBERIA 2	20" NOMINAL	1
8	TEE	20" NOMINAL	1
9	TUBERIA 3	20" NOMINAL	1
10	BARANDA	ESTRUCTURA METALICA	1
11	TUBERIA 4	20" NOMINAL	1
12	PUERTA SUPERIOR	PUERTA SUPERIOR	6
13	COMPUERTA	COMPUERTA	4
14	DUCTO AIRE	SUBTERRANEO	1
15	BASE	CIMIENTO	1
16	DUCTO GASES	SUBTERRANEO	2
17	PISO TANQUE	CONCRETO	2
18	REJILLAS	REJILLAS	18

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm

TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

MATERIAL: N/A
ACABADO: N/A
PESO: N/A

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

SUBSISTEMA:
SISTEMA REGENERADOR DE CALOR

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	WILMAN O		
VERIF.	CRISTHIAN B		
APROB.	OMAR G		



FACULTAD DE INGENIERÍAS
FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECAÑICA

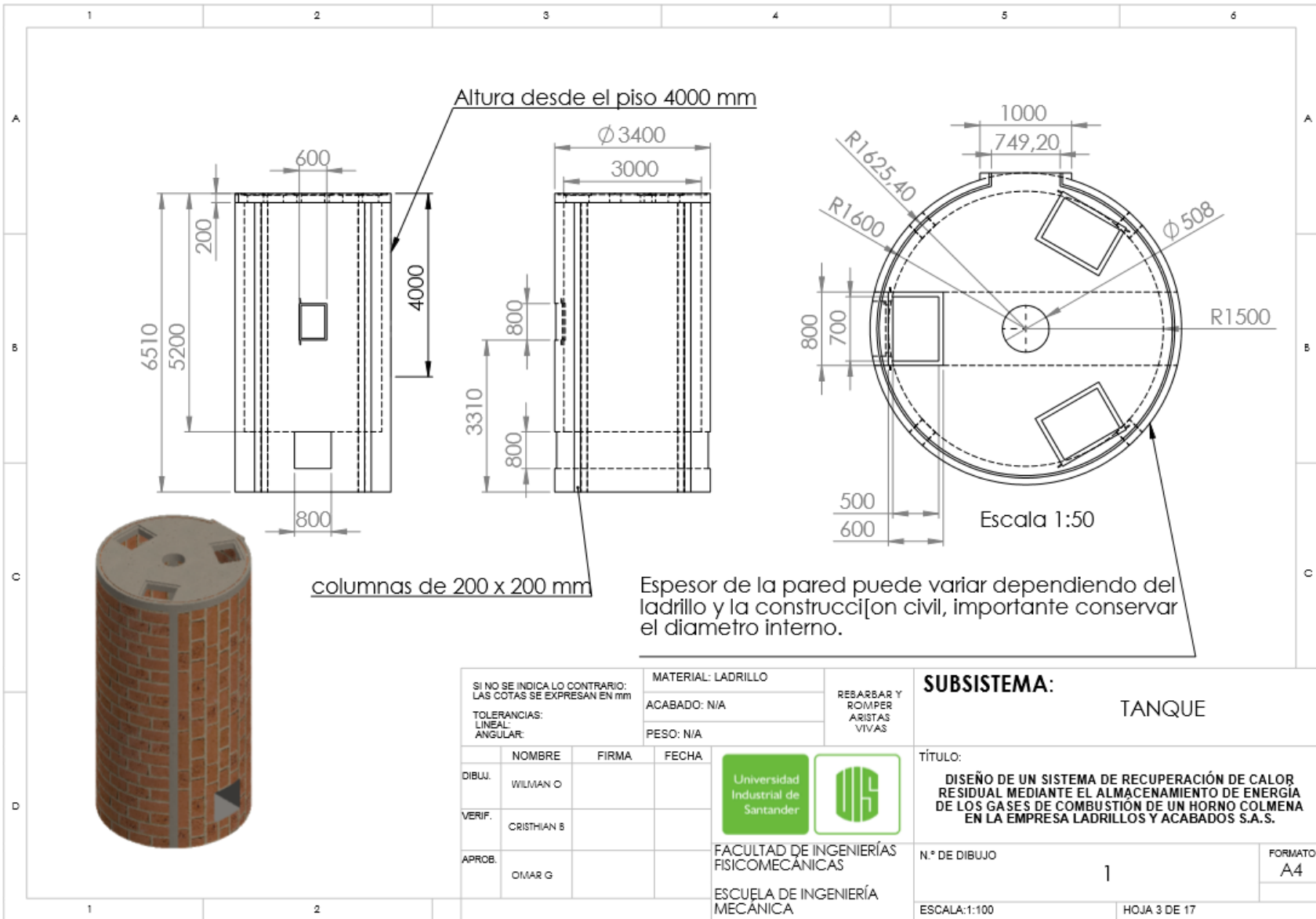
TÍTULO:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE UN HORNO COLMENA EN LA EMPRESA LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.

N.º DE DIBUJO
SISTEMA REGENERADOR DE CALOR

FORMATO
A4

ESCALA: 1:100

HOJA 2 DE 17





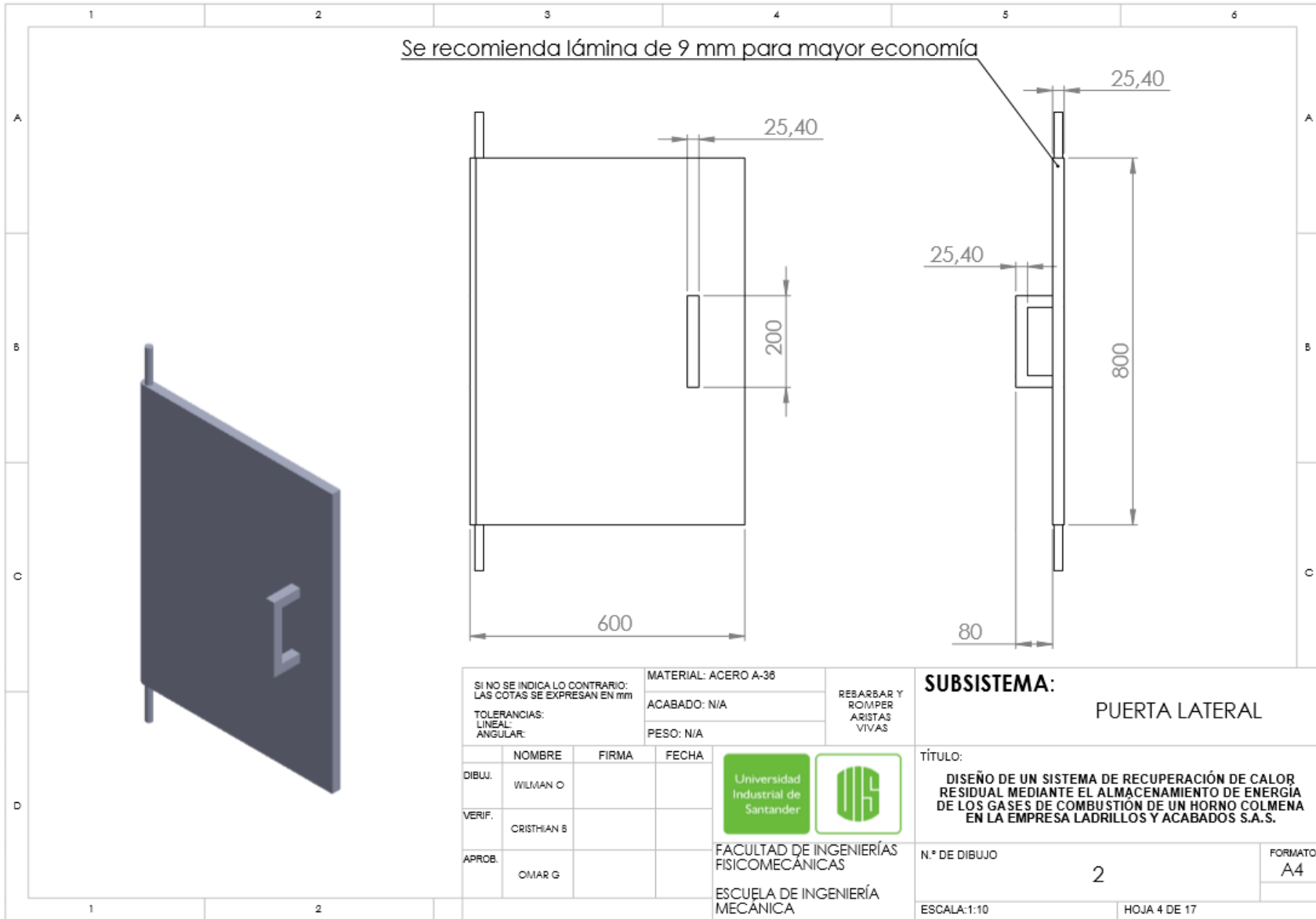
Altura desde el piso 4000 mm

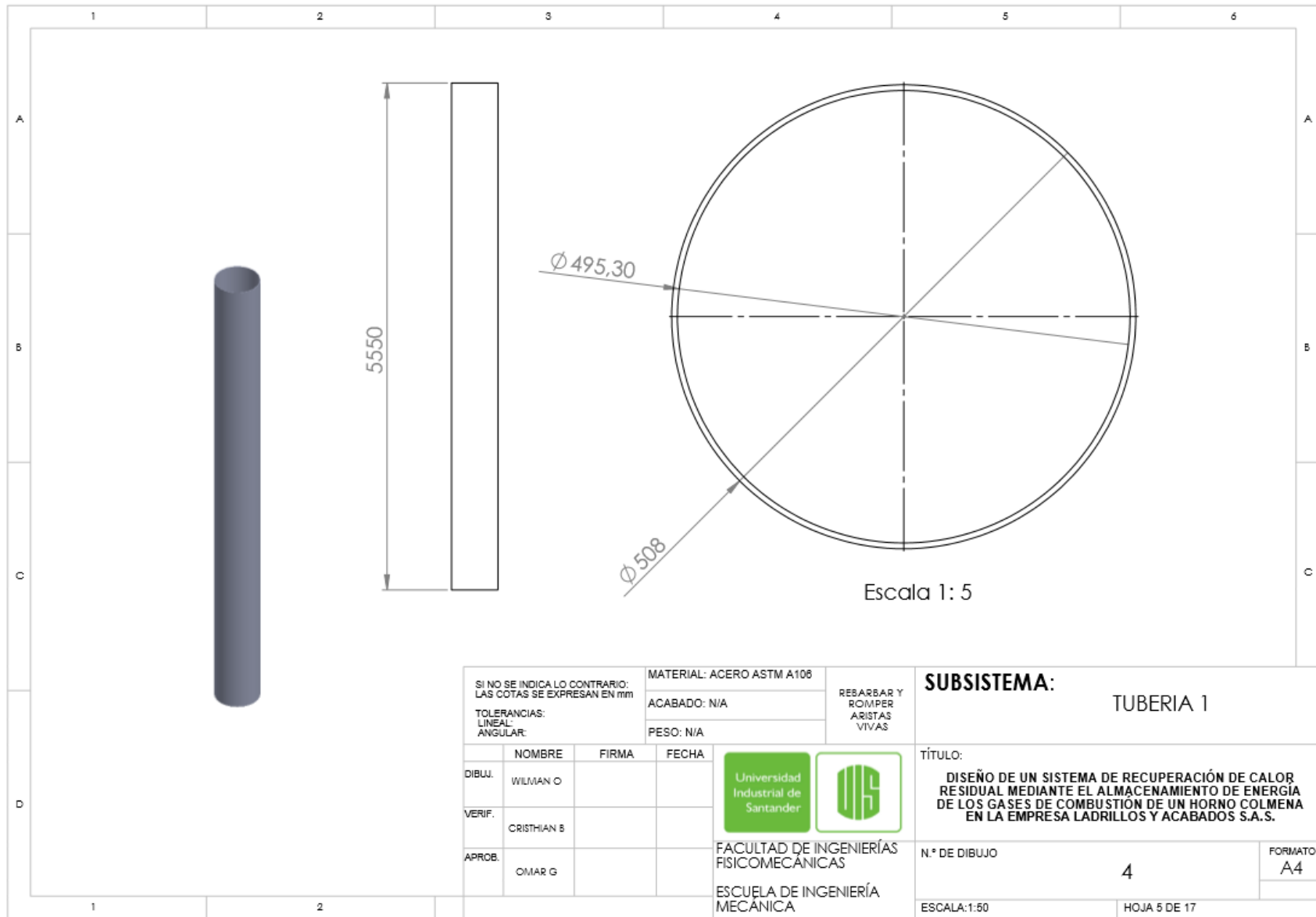
columnas de 200 x 200 mm



Espesor de la pared puede variar dependiendo del ladrillo y la construcción civil, importante conservar el diametro interno.

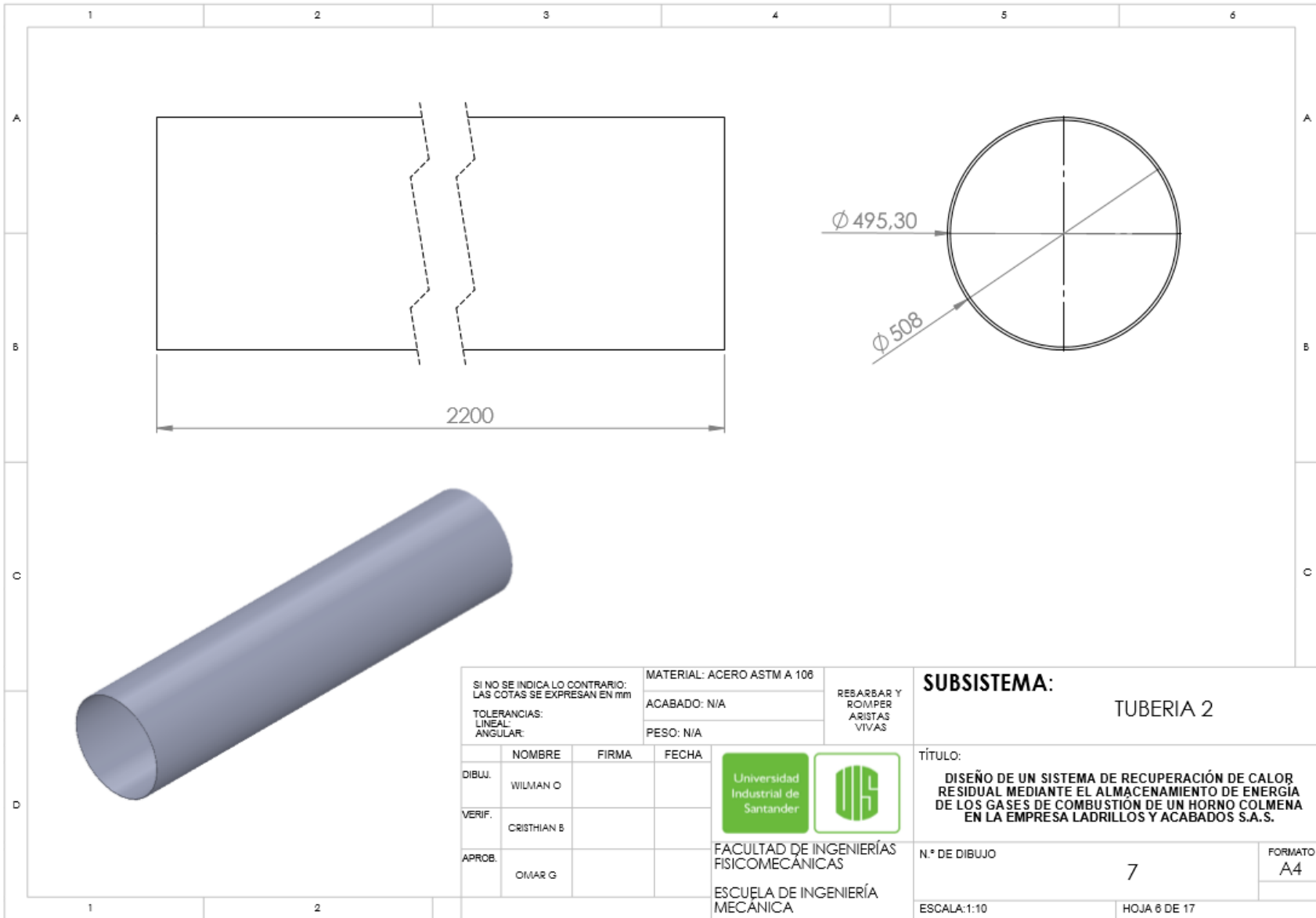
Escala 1:50



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm				MATERIAL: LADRILLO	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUBSISTEMA:	
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO: N/A		TANQUE	
				PESO: N/A			
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	 		TÍTULO:	
DIBUJ.	WILMAN O					DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE UN HORNO COLMENA EN LA EMPRESA LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.	
VERIF.	CRISTHIAN B						
APROB.	OMAR G			FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAICAS		N.º DE DIBUJO	1
				ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		ESCALA: 1:100	HOJA 3 DE 17
						FORMATO	A4

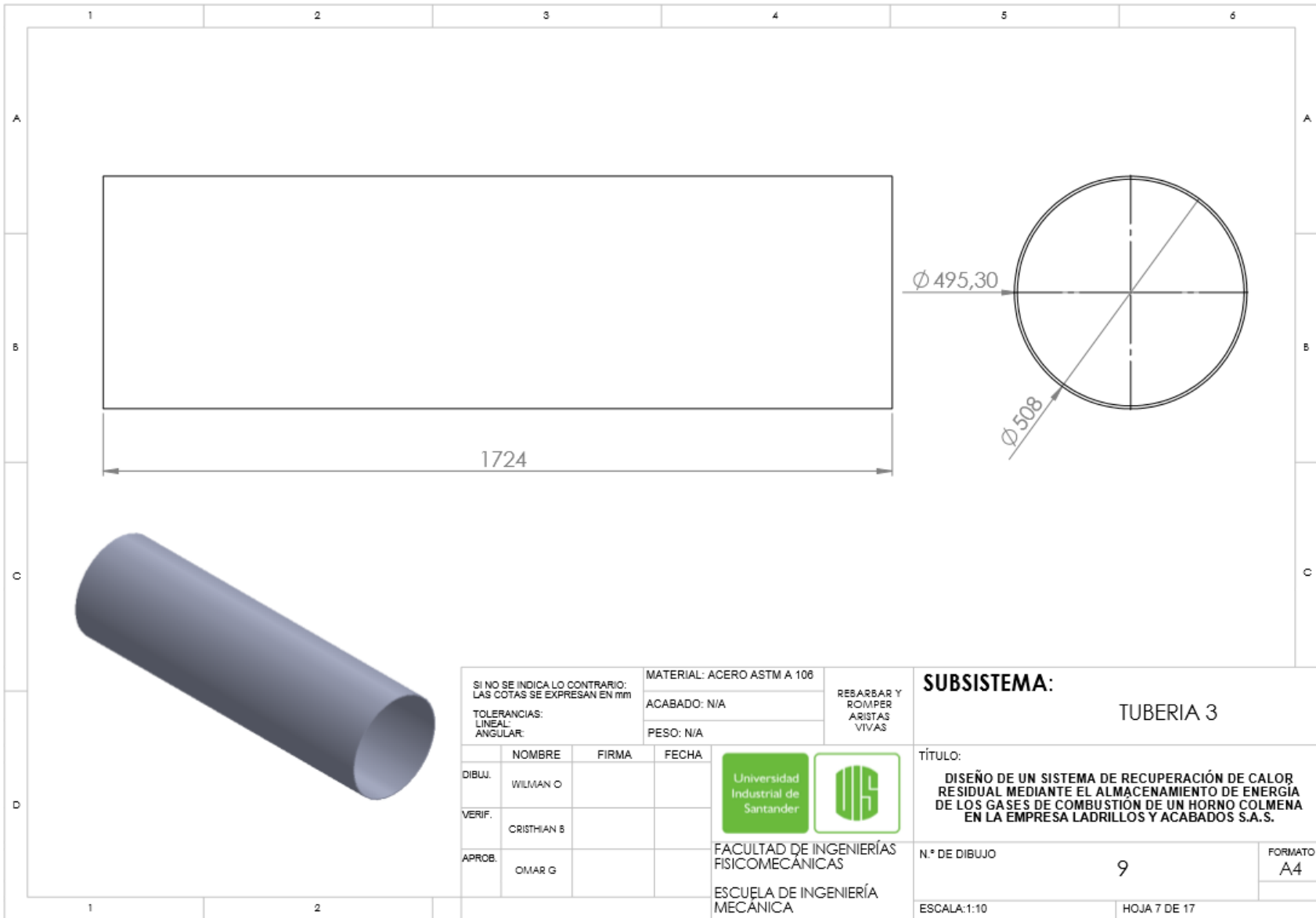




SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm			MATERIAL: ACERO ASTM A106		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUBSISTEMA: TUBERIA 1		
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: N/A			TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE UN HORNO COLMENA EN LA EMPRESA LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.		
			PESO: N/A					
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	 		N.º DE DIBUJO	FORMATO	
VERIF.	CRISTHIAN B					4	A4	
APROB.	OMAR G					ESCALA: 1:50	HOJA 5 DE 17	
				FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS				
				ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm				MATERIAL: ACERO ASTM A 106		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		SUBSISTEMA: TUBERIA 2	
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO: N/A				TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DE LOS GASES DE COMBUSTION DE UN HORNO COLMENA EN LA EMPRESA LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.	
				PESO: N/A					
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	  FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE DIBUJO		FORMATO	
DIBUJ.	WILMIAN O					7		A4	
VERIF.	CRISTHIAN B								
APROB.	OMAR G			ESCALA: 1:10		HOJA 6 DE 17			



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm

TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

MATERIAL: ACERO ASTM A 106

ACABADO: N/A

PESO: N/A

RESABRAR Y
ROMPER
ARISTAS
VIVAS

SUBSISTEMA:
TUBERIA 3

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	WILMAN O		
VERIF.	CRISTHIAN B		
APROB.	OMAR G		



FACULTAD DE INGENIERÍAS
FISICOMECAÑICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA
MECAÑICA

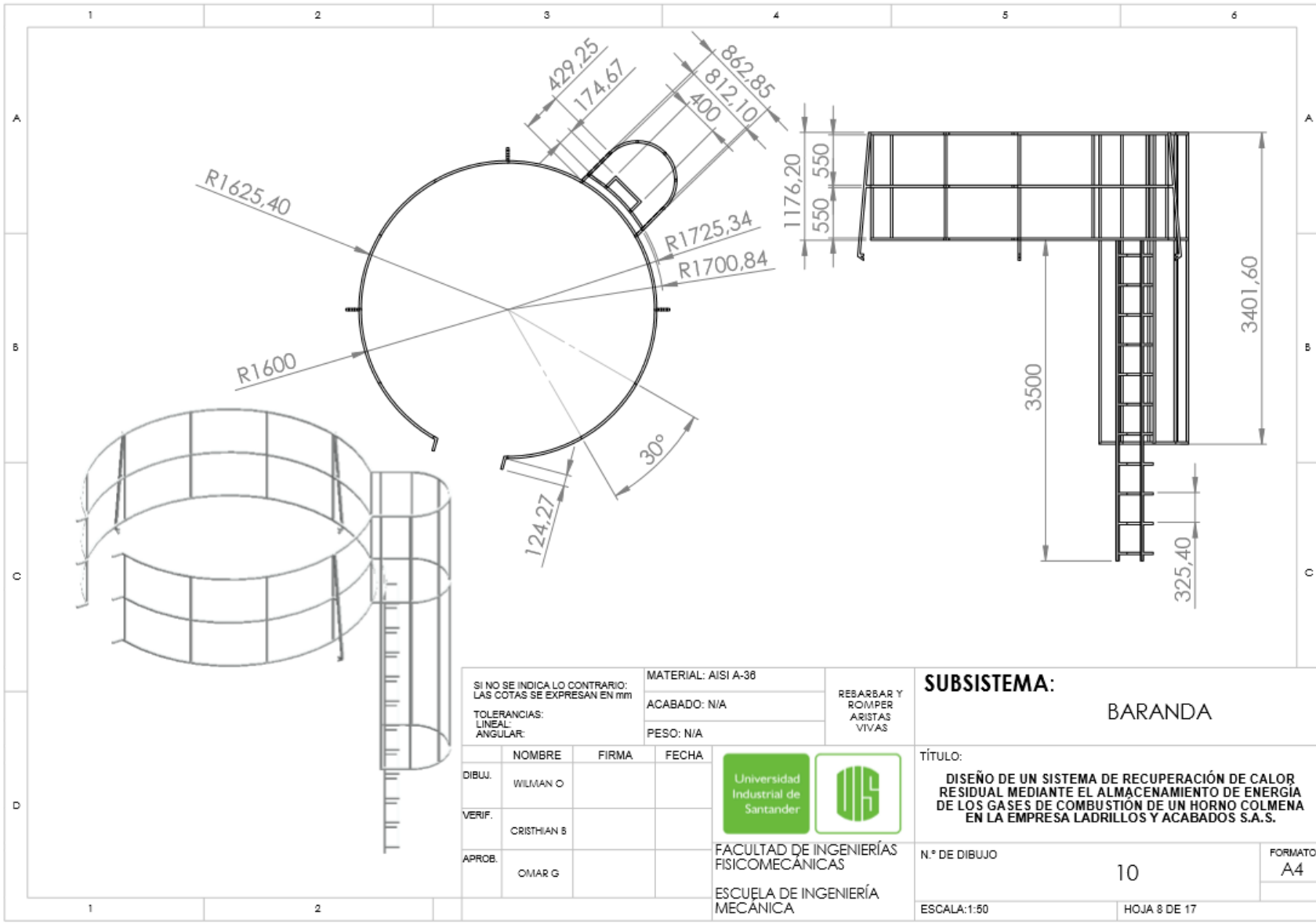
TÍTULO:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR
RESIDUAL MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA
DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE UN HORNO COLMENA
EN LA EMPRESA LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.



N.º DE DIBUJO: 9

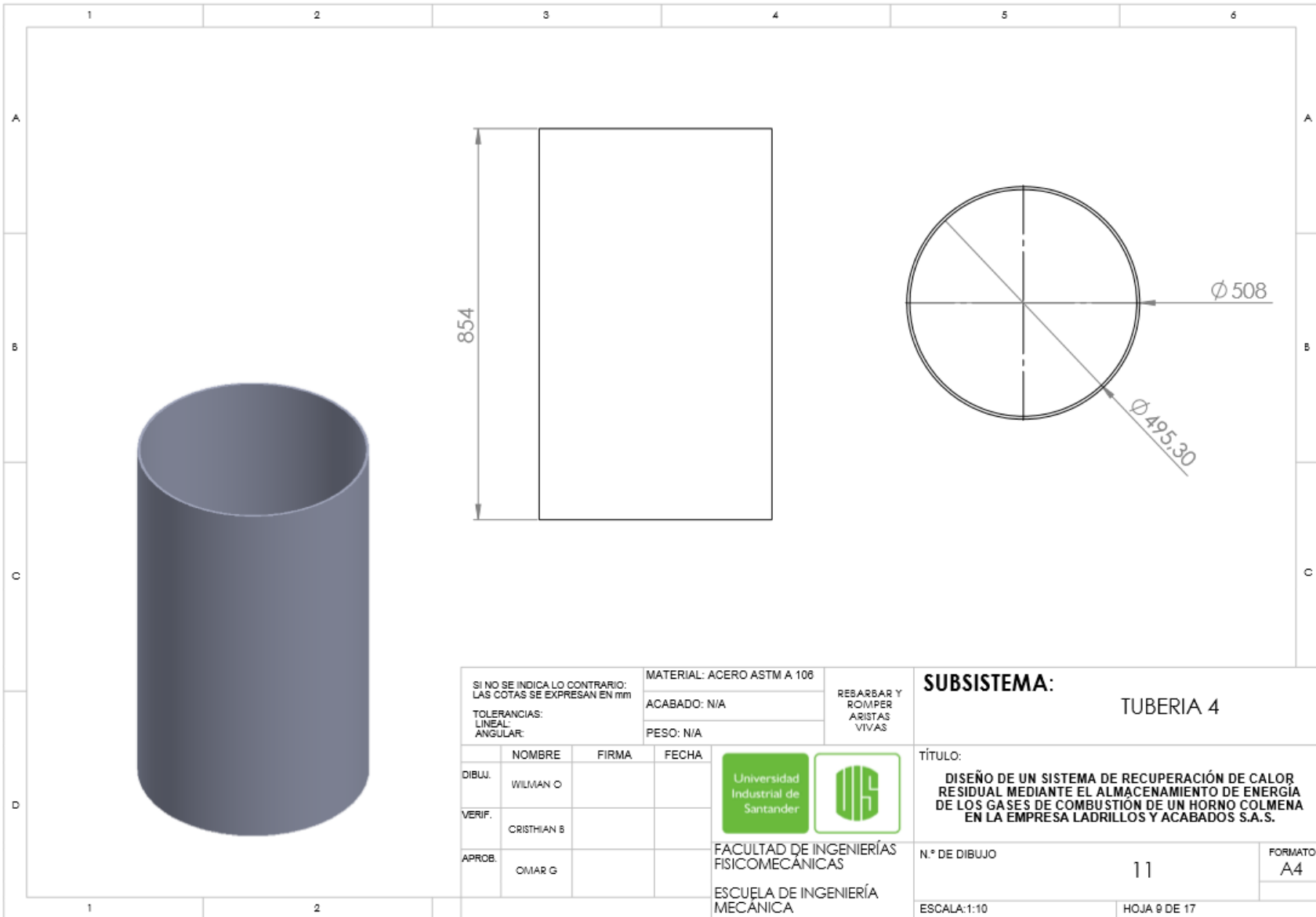
FORMATO: A4



ESCALA: 1:10

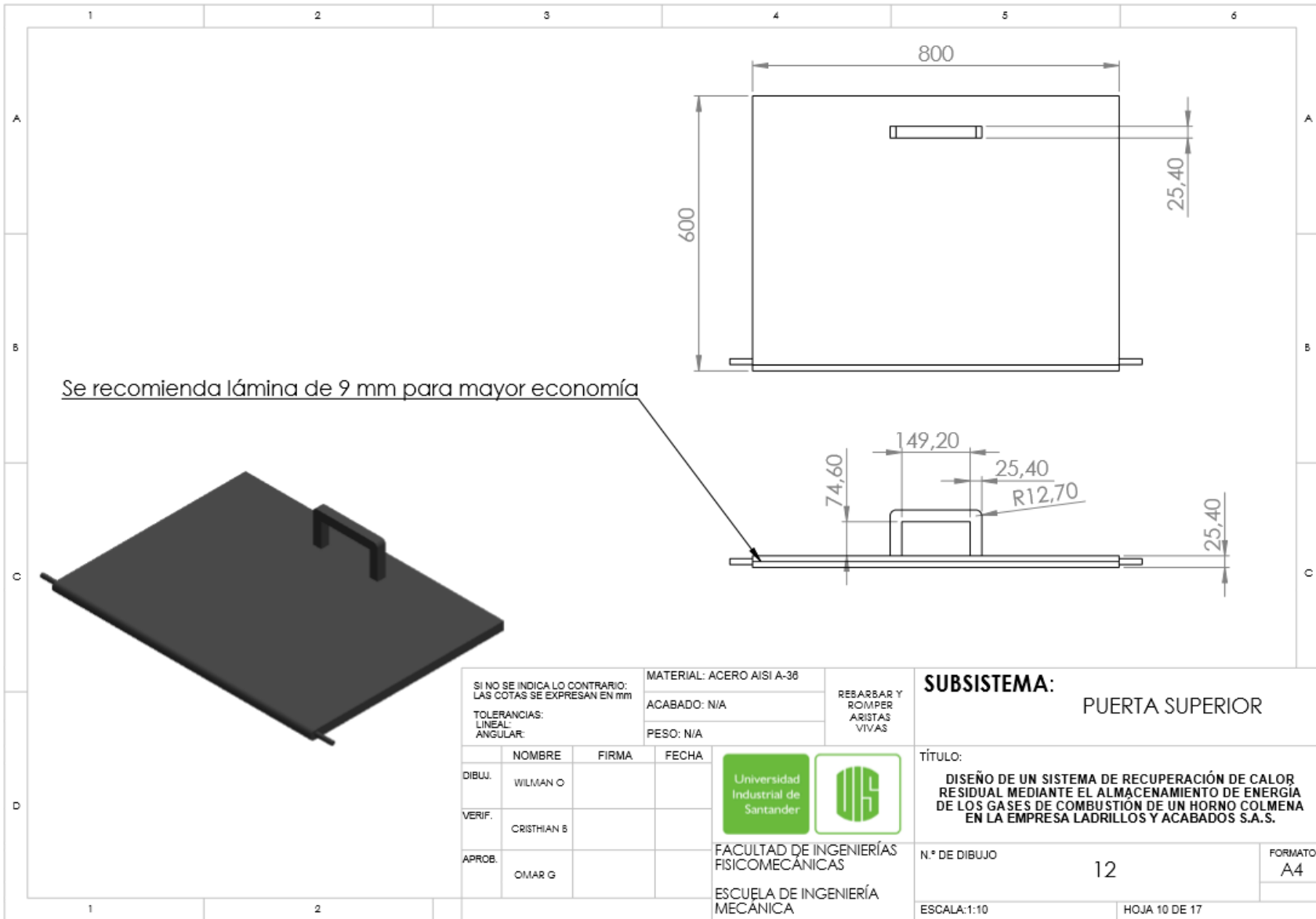
HOJA 7 DE 17




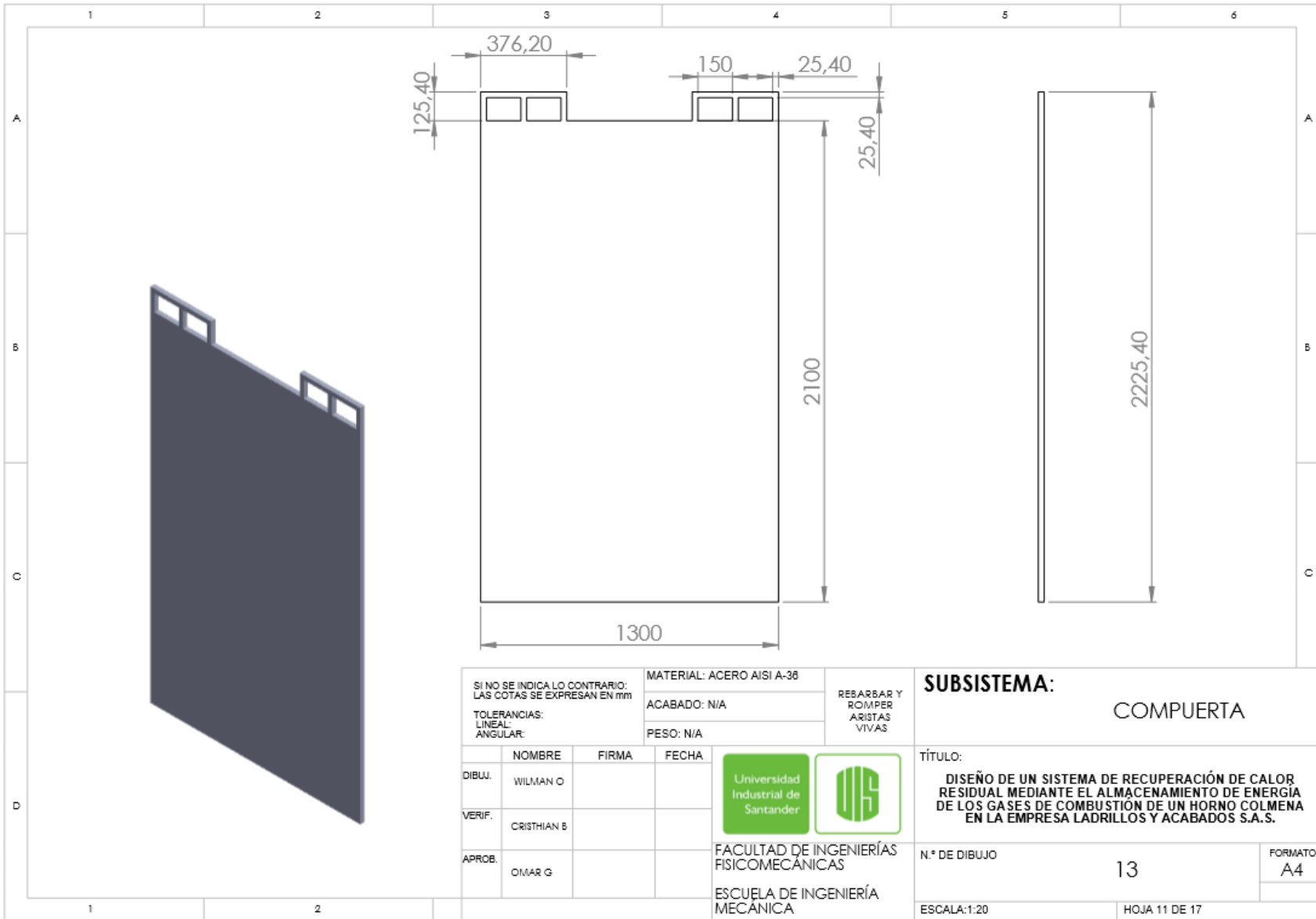
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm			MATERIAL: AISI A-38	RESABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUBSISTEMA: BARANDA
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: N/A		
			PESO: N/A		
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	 	TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE UN HORNO COLMENA EN LA EMPRESA LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.
VERIF.	CRISTIAN B				
APROB.	OMAR G				
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS				N.º DE DIBUJO	10
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				ESCALA: 1:50	HOJA 8 DE 17
					FORMATO A4





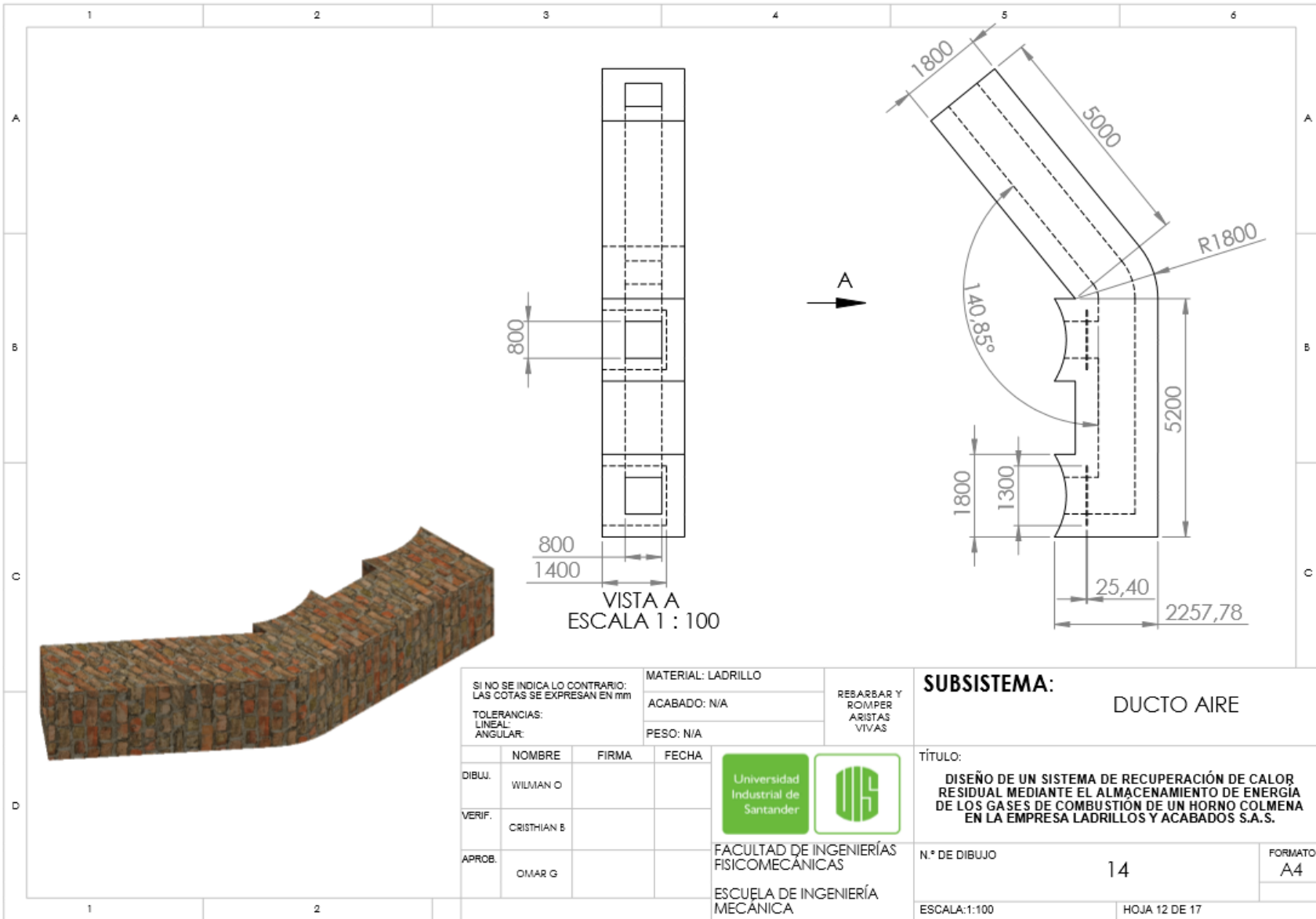
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm				MATERIAL: ACERO ASTM A 106		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUBSISTEMA:	
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO: N/A			TUBERIA 4	
				PESO: N/A				
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	  FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAICAS ESCUELA DE INGENIERÍA MECANICA		TÍTULO:		
DIBUJ.	WILMAN O					DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGIA DE LOS GASES DE COMBUSTION DE UN HORNO COLMENA EN LA EMPRESA LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.		
VERIF.	CRISTHIAN B							
APROB.	OMAR G			N.º DE DIBUJO		11		FORMATO
								A4
ESCALA: 1:10						HOJA 9 DE 17		

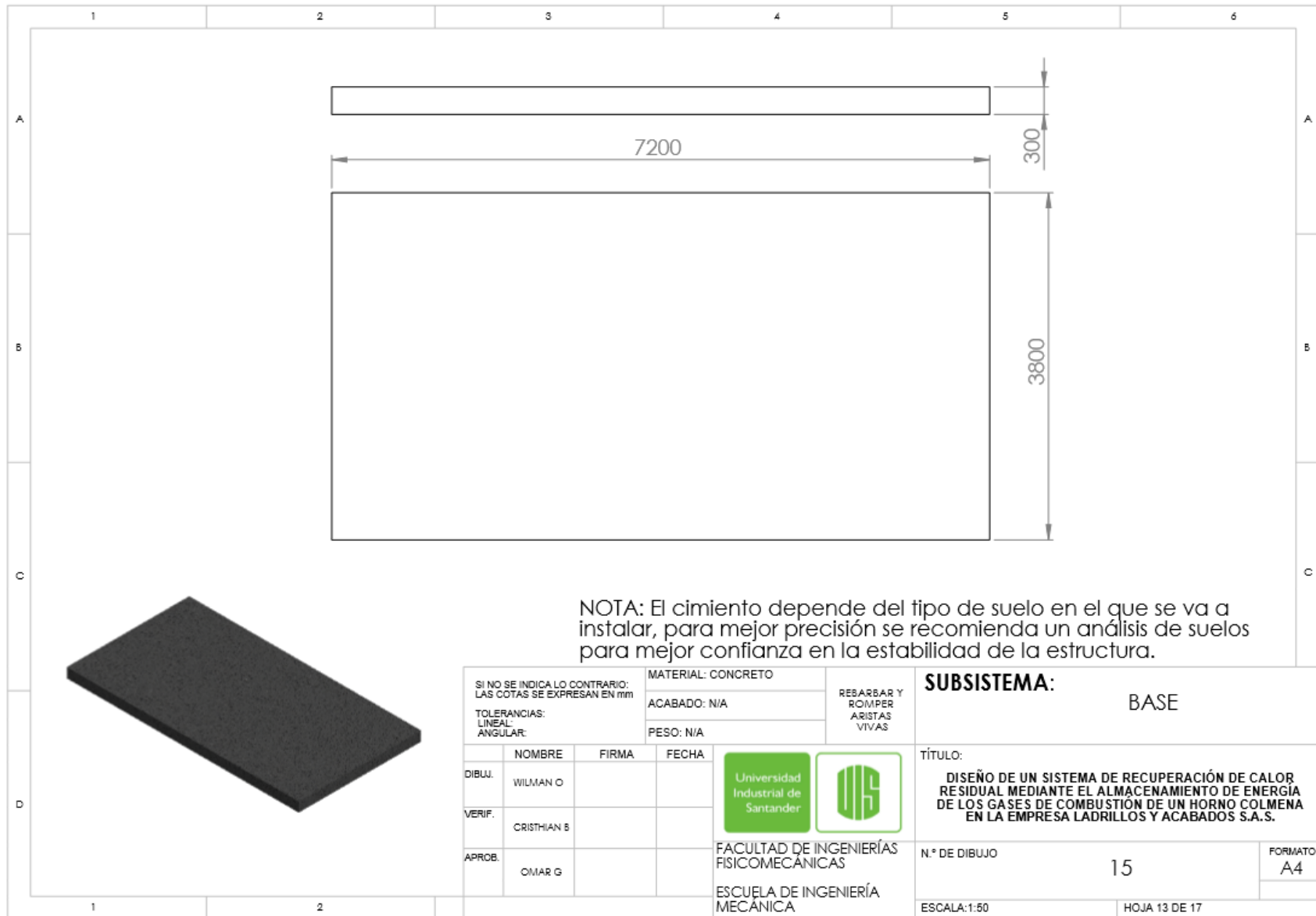


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm			MATERIAL: ACERO AISI A-36		RESABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUBSISTEMA: PUERTA SUPERIOR		
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: N/A			TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE UN HORNO COLMENA EN LA EMPRESA LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.		
			PESO: N/A					
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	Universidad Industrial de Santander  FACULTAD DE INGENIERÍAS FISIOMECAÑICAS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE DIBUJO	FORMATO	
DIBUJ.	WILMAN O					12	A4	
VERIF.	CRISTHIAN B							
APROB.	OMAR G			ESCALA: 1:10		HOJA 10 DE 17		





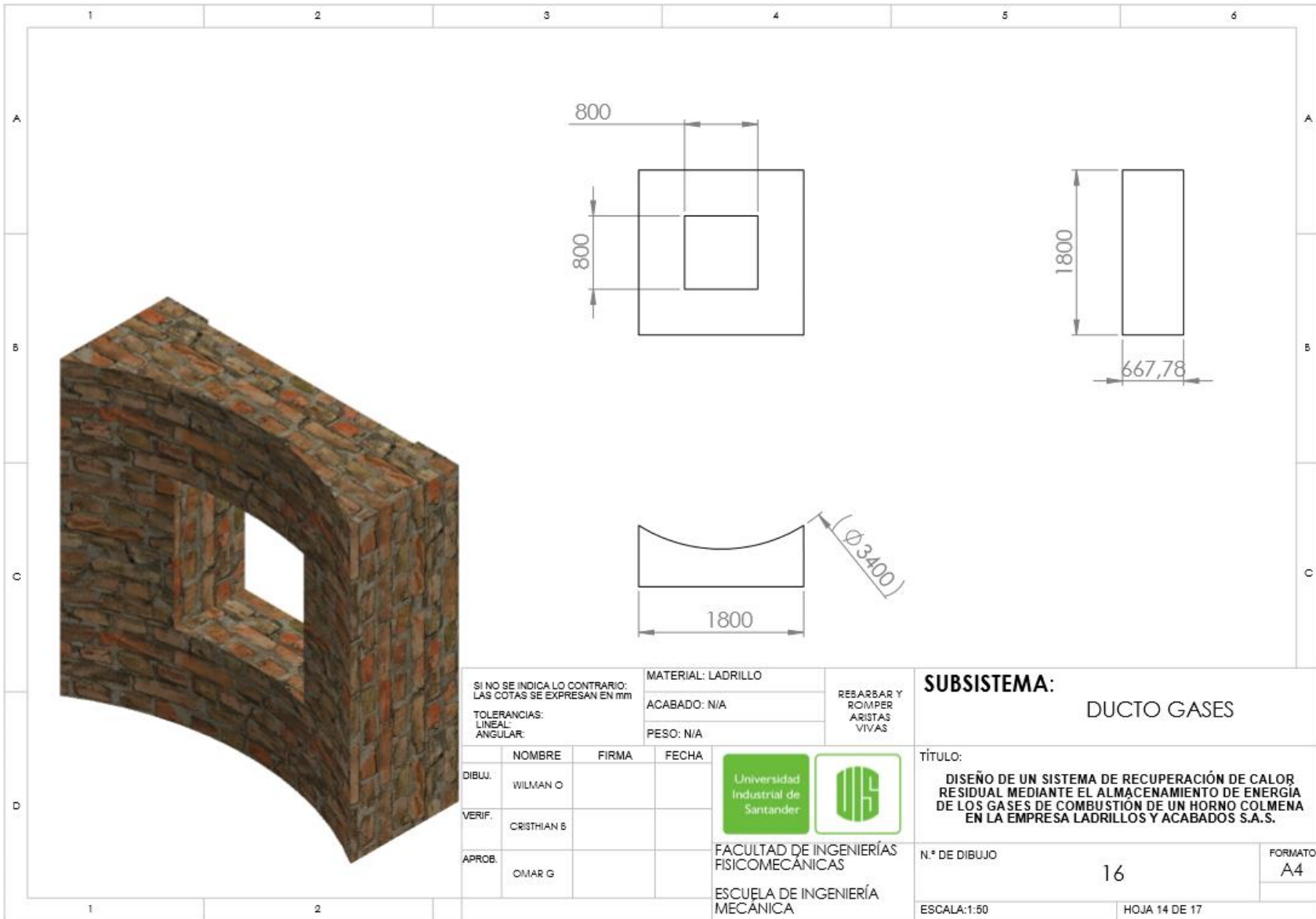
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm			MATERIAL: ACERO AISI A-36		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUBSISTEMA:	
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: N/A			COMPUERTA	
			PESO: N/A				
DIBUJ.	WILMAN O				 	TÍTULO:	
VERIF.	CRISTHIAN B					DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGIA DE LOS GASES DE COMBUSTION DE UN HORNO COLMENA EN LA EMPRESA LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.	
APROB.	OMAR G					N.º DE DIBUJO	13
					ESCALA: 1:20		HOJA 11 DE 17





NOTA: El cimiento depende del tipo de suelo en el que se va a instalar, para mejor precisión se recomienda un análisis de suelos para mejor confianza en la estabilidad de la estructura.

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm		MATERIAL: CONCRETO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	SUBSISTEMA: BASE
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO: N/A			
		PESO: N/A			
DIBUJ.	NOMBRE WILMAN O	FIRMA	FECHA	 	TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE UN HORNO COLMENA EN LA EMPRESA LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.
VERIF.	CRISTHIAN B				
APROB.	OMAR G				
				FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS	N.º DE DIBUJO 15
				ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	FORMATO A4
				ESCALA: 1:50	HOJA 13 DE 17



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm

TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

MATERIAL: LADRILLO
ACABADO: N/A
PESO: N/A

RESABAR Y
ROMPER
ARISTAS
VIVAS

SUBSISTEMA:
DUCTO GASES

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	WILMAN O		
VERIF.	CRISTHIAN B		
APROB.	OMAR G		



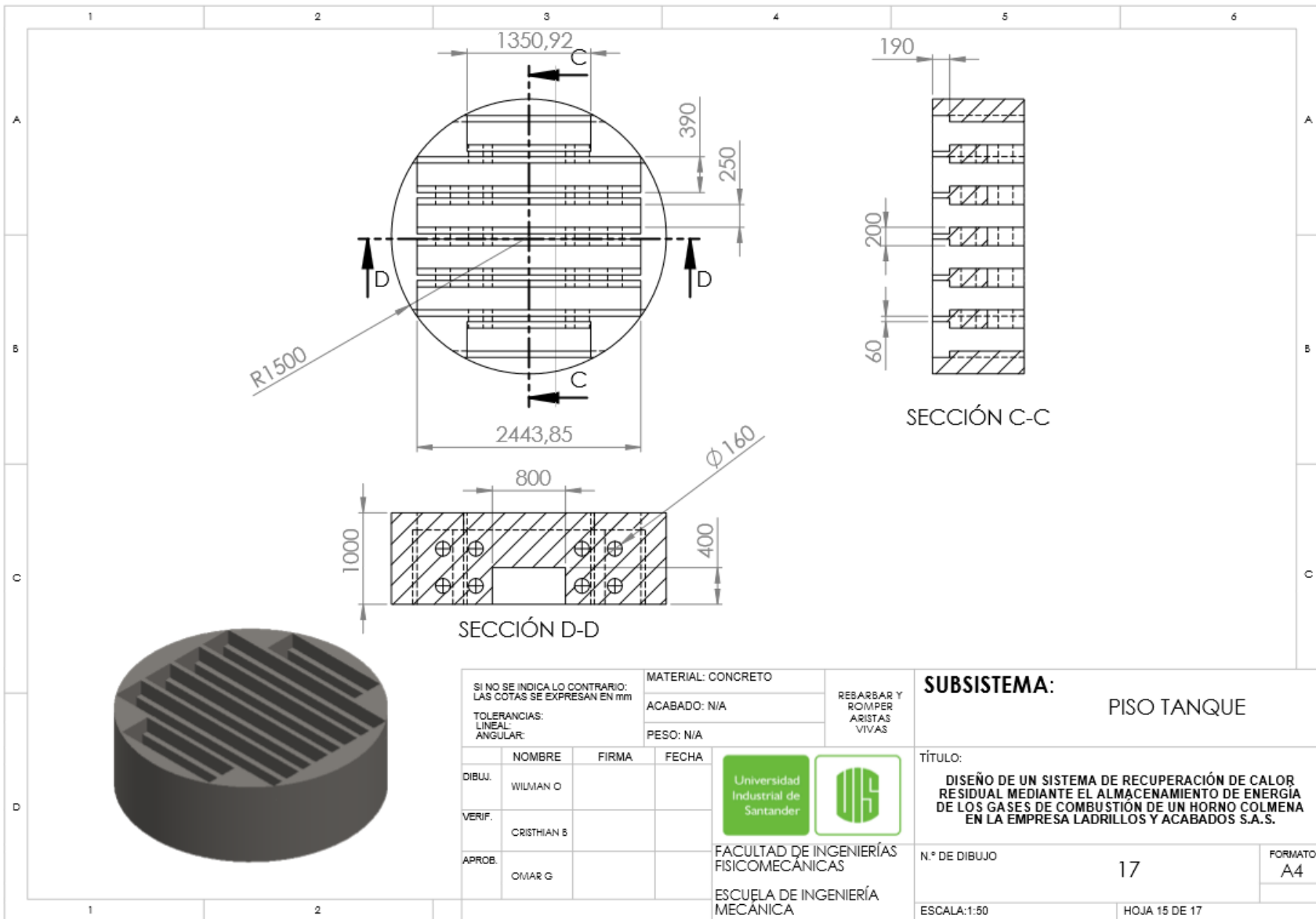
FACULTAD DE INGENIERÍAS
FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECAÑICA

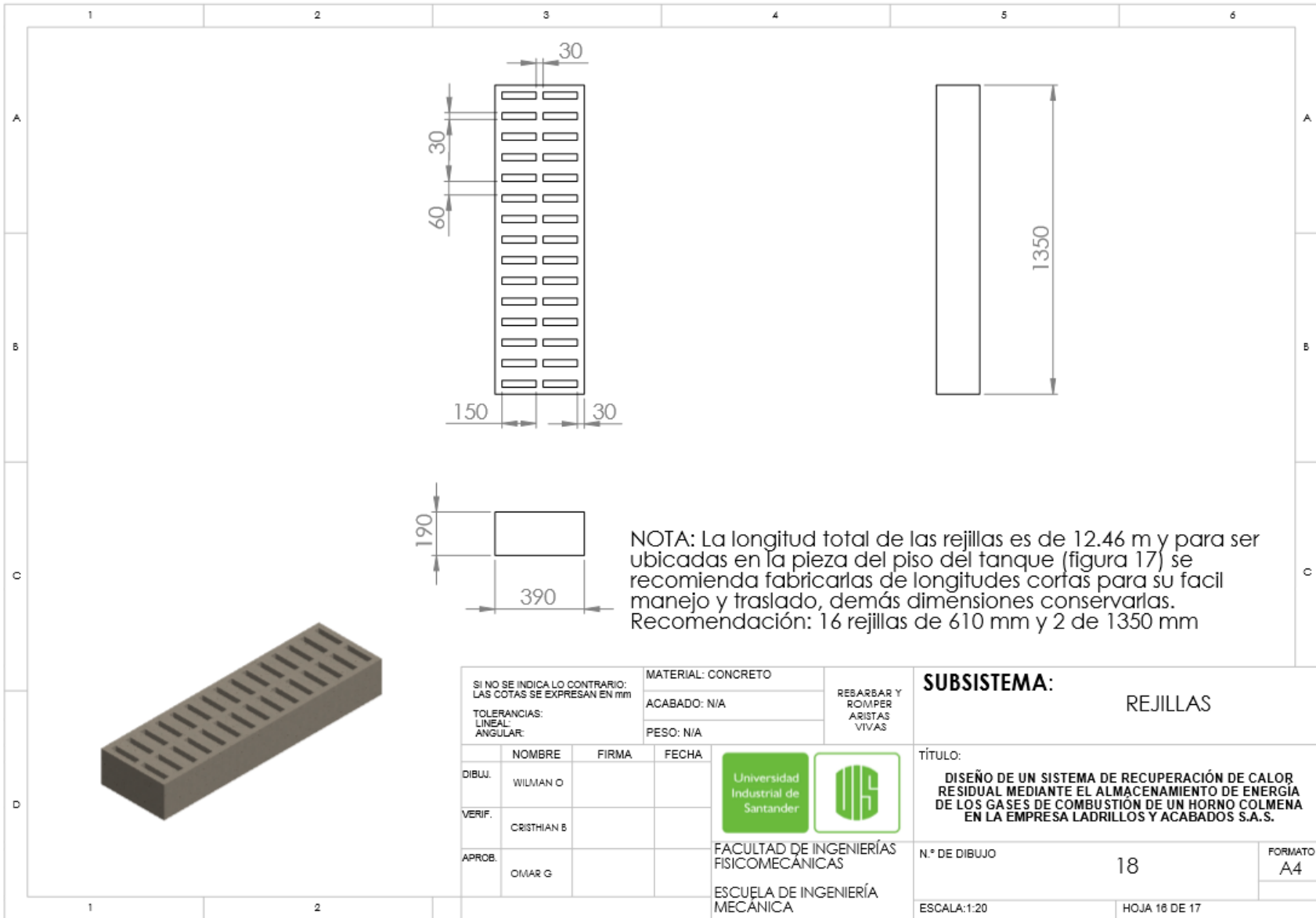
TÍTULO:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE UN HORNO COLMENA EN LA EMPRESA LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.

N.º DE DIBUJO
16


FORMATO
A4

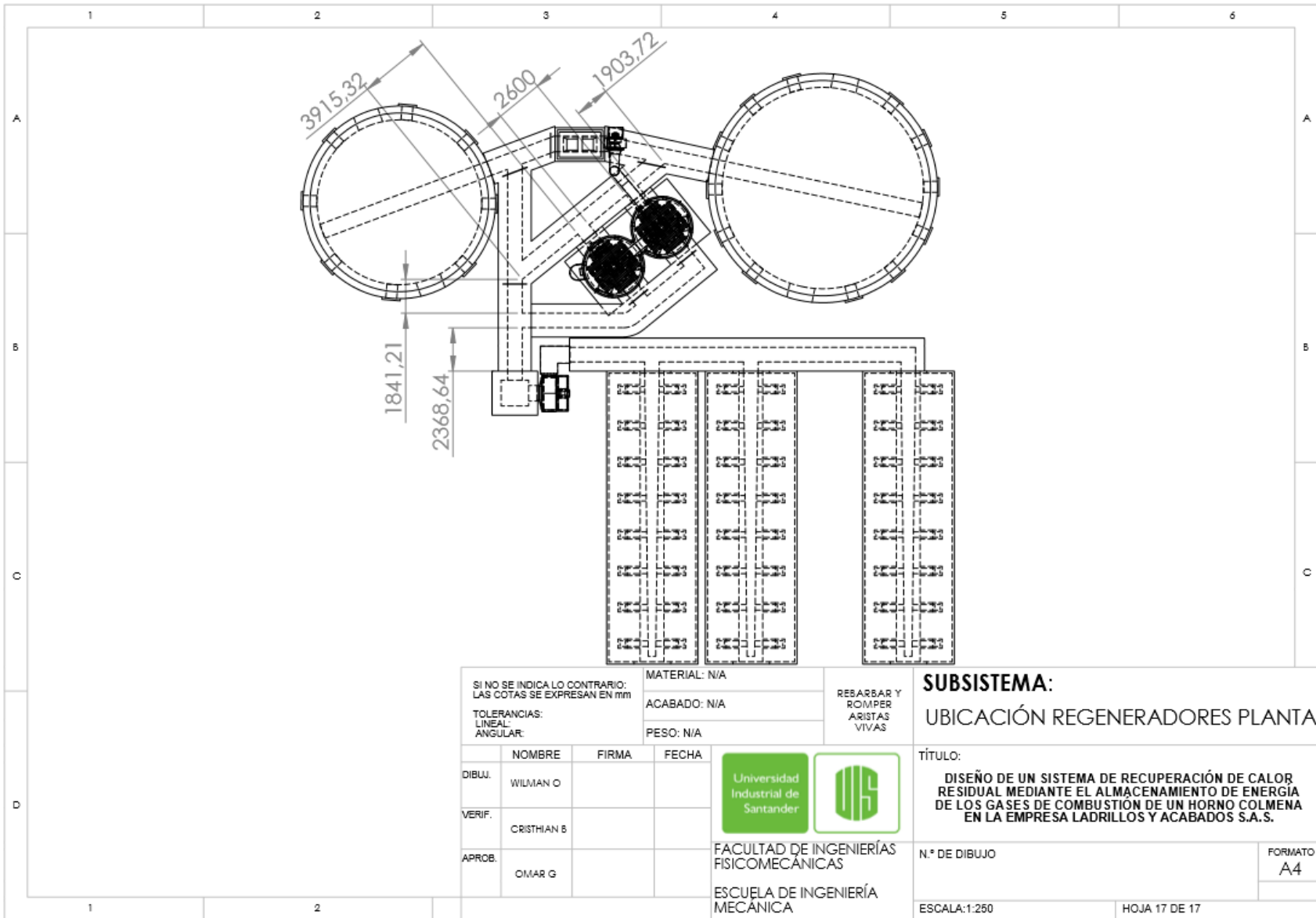
ESCALA: 1:50
HOJA 14 DE 17





NOTA: La longitud total de las rejillas es de 12.46 m y para ser ubicadas en la pieza del piso del tanque (figura 17) se recomienda fabricarlas de longitudes cortas para su facil manejo y traslado, demás dimensiones conservarlas. Recomendación: 16 rejillas de 610 mm y 2 de 1350 mm

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				MATERIAL: CONCRETO		SUBSISTEMA: REJILLAS			
				ACABADO: N/A				REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	
				PESO: N/A					
DIBUJ.		WILMAN O				TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DE LOS GASES DE COMBUSTION DE UN HORNO COLMENA EN LA EMPRESA LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.			
VERIF.		CRISTHIAN B				N.º DE DIBUJO 18		FORMATO A4	
APROB.		OMAR G				FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		ESCALA: 1:20 HOJA 16 DE 17	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm

TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

MATERIAL: N/A
ACABADO: N/A
PESO: N/A

RESABAR Y
ROMPER
ARISTAS
VIVAS

SUBSISTEMA:
UBICACIÓN REGENERADORES PLANTA

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	WILMAN O		
VERIF.	CRISTHIAN B		
APROB.	OMAR G		



FACULTAD DE INGENIERÍAS
FISICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA

TÍTULO:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR
RESIDUAL MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA
DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE UN HORNO COLMENA
EN LA EMPRESA LADRILLOS Y ACABADOS S.A.S.

N.º DE DIBUJO	FORMATO A4
ESCALA: 1:250	HOJA 17 DE 17