



# UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	Documento	Código	Fecha	Revisión
		F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Dependencia	Aprobado		Pág.
		SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(135)

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	ANDERSON VEGA MOHALEM YOLIAN YULIAN DIAZ CORTES
FACULTAD	FACULTAD DE INGENIERIAS
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA MECÁNICA
DIRECTOR	MARIA ANGELICA ACOSTA PEREZ
TÍTULO DE LA TESIS	APROVECHAMIENTO DE LOS GASES GENERADOS POR EL HORNO HOFFMAN PARA MEJORAR LA ZONA DE SECADO EN LA LADRILLERA OCAÑA

### RESUMEN

(70 palabras aproximadamente)

En este trabajo se realizó una investigación que buscó mejorar el proceso de secado aprovechando los gases generados por el horno Hoffman en la ladrillera Ocaña mediante la elaboración de un análisis inicial a las propiedades del carbón usado en la ladrillera, seguido de un estudio Isocinético de los gases generados por el horno Hoffman, lo cual permitió conocer los parámetros de dichos gases para poder realizar el diseño de la ducteria. De la misma manera y al conocer las condiciones de los secaderos se diseñó un sistema de extracción de humedad y renovación de aire, con el cual se busca disminuir los tiempos de secado y mejorar la condición de estos al momento de ingresarlos al horno para su cocción.

### CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 135	PLANOS:1	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1
--------------	----------	----------------	-----------



VÍA ACOLSURE, SEDE EL ALGODONAL, OCAÑA N. DE S.  
Línea Gratuita Nacional 018000 121022 / PBX: 097-5690088  
[www.ufpso.edu.co](http://www.ufpso.edu.co)



APROVECHAMIENTO DE LOS GASES GENERADOS POR EL HORNO  
HOFFMAN PARA MEJORAR LA ZONA DE SECADO EN LA LADRILLERA  
OCAÑA

ANDERSON VEGA MOHALEM  
YOLIAN YULIAN DIAZ CORTES

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
INGENIERÍA MECÁNICA  
OCAÑA  
2014

APROVECHAMIENTO DE LOS GASES GENERADOS POR EL HORNO  
HOFFMAN PARA MEJORAR LA ZONA DE SECADO EN LA LADRILLERA  
OCAÑA

ANDERSON VEGA MOHALEM  
YOLIAN YULIAN DIAZ CORTES

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

Director  
MARIA ANGELICA ACOSTA PEREZ  
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
INGENIERÍA MECÁNICA  
OCAÑA  
2014

## DEDICATORIA

Este triunfo se lo dedico a Dios por darme la vida y la sabiduría para sacar a delante esta tesis que muchas veces pensamos dejar atrás; darle las gracias a Mi amigo y hermano Yolian Yulian Díaz Cortéz por este objetivo cumplido en nuestras vidas y por ser ese apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera.

Es un peldaño más de tantos que vendrán. Para nuestras vidas.

dedicárselo a mi madre por ser esa hermosa mujer el cual me inspira cada día a seguir adelante; de hacer que todas mis metas y objetivos se cumplan; a Mi padre por estar siempre pendiente de que todo se cumpliera y por estar pendiente de mi en todo momento y a Mi hermano anthony vega Mohalem por ser una motivación más para que se llevara acabo este objetivo de mi vida , a cada persona que me apoyaron a lo largo de mi carrera además de mis amigos y familiares agradecido inmensamente con cada uno de ellos bendiciones y éxitos para todos de ahora en adelante

"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica : la voluntad " Albert Einstein .

Anderson Vega Mohalem

## DEDICATORIA

Doy gracias a Dios por darme la sabiduría, entendimiento, paciencia y fortaleza para cumplir todas y cada una de las etapas vividas durante mi formación profesional y haberme ayudado a terminar mi tesis de grado.

A mis Padres José Germán Díaz Peña y Luz Alix Cortes Reyes por darme la oportunidad de estudiar y demostrarme que todo esfuerzo vale la pena, que la dedicación y perseverancia dan frutos para construir un futuro mejor, nunca me alcanzara la vida para agradecerles la oportunidad que se cristaliza con el título de Ingeniero Mecánico.

A mis hermanos Diego Fabian, Yerlis Patricia, por haberme apoyado y darme una voz de aliento cuando más la necesite.

A Anderson Vega Mohalem por haberme acompañado y trabajado de la mano para culminar con este proyecto de grado.

Gracias y mil gracias a todas las personas que colaboraron poniendo un granito de arena para que pudiera obtener este título de ingeniero, en especial a Zandra por ser la persona más especial en mi vida y regalarme ese rayito de sol y alegría que me llenaba de energía para seguir adelante cada día.

Yolian Yulian Díaz Cortes

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por educarnos y formarnos para la vida.

A María Angélica Acosta Pérez, Ingeniero Mecánico por su enorme colaboración e invaluable aporte como director del proyecto.

A Jaider vergel Pabon y Carlos Noriega, ingenieros mecánicos, por instruirnos y guiarnos con sus conocimientos profesionales, los cuales fueron invaluable al momento de la toma de decisiones, durante el desarrollo de este proyecto.

A los trabajadores de la ladrillera Ocaña, que colaboraron en la realización de este trabajo.

## CONTENIDO

	Pág.
<u>INTRODUCCION</u>	19
<u>1. APROVECHAMIENTO DE LOS GASES GENERADOS POR EL HORNO HOFFMAN PARA MEJORAR LA ZONA DE SECADO EN LA LADRILLERA OCAÑA</u>	21
<u>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	21
<u>1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</u>	22
<u>1.3 OBJETIVOS</u>	22
1.3.1 General	22
1.3.2 Específicos	22
<u>1.4 JUSTIFICACIÓN</u>	22
<u>1.5 DELIMITACIONES</u>	24
1.5.1 Geográfica	24
1.5.2 Temporales	24
1.5.3 Conceptual	24
1.5.4 Operativa	24
<u>1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES</u>	24
1.6.1 Alcances	24
1.6.2 Limitaciones	24
<u>2. MARCO REFERENCIAL</u>	25
<u>2.1 MARCO HISTORICO</u>	25
2.1.1 Antecedentes históricos de la industria de la cerámica a nivel internacional	25
2.1.2 Antecedentes históricos de la industria de la cerámica a nivel nacional.	26
2.1.3 Antecedentes históricos de la industria de la cerámica a nivel local.	27
<u>2.2 ESTADO DEL ARTE</u>	27
<u>2.3 MARCO CONCEPTUAL</u>	30
2.3.1 Procesos de producción de la industria ladrillera.	30
2.3.1.1 Proceso de secado.	30
2.3.1.2 Humedad.	30
2.3.1.3 Humedad relativa.	30
2.3.1.4 Optimización del proceso de secado.	31
<u>2.4 MARCO TEÓRICO</u>	32
<u>2.5 MARCO LEGAL</u>	36
2.5.1 Resolución 909, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	36
2.5.2 Acuerdo 065 de 1996	38
<u>3. DISEÑO METODOLÓGICO</u>	40
<u>3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN</u>	40
<u>3.2 POBLACIÓN</u>	40
<u>3.3 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN</u>	40
<u>3.4 FASES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN</u>	40

3.4.1 FASE I. Revisión bibliográfica.	40
3.4.2 FASE II. Moldeamiento de la propuesta.	40
3.4.3 FASE III. Presentación de la propuesta.	40
<b>4. ACTIVIDADES DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>42</b>
<b><u>4.1 ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN</u></b>	<b>42</b>
4.1.1 Determinación del contenido de humedad	43
4.1.2 Determinación del contenido de ceniza	44
4.1.3 Determinación del contenido de materia volátil	46
4.1.4 Determinación del poder calorífico	47
<b><u>4.2 DETERMINAR EL PORCENTAJE DE CONTAMINACIÓN DE LOS GASES DISTRIBUIDOS EN LOS COMPONENTES QUÍMICOS COMO: MATERIAL PARTICULADO (MP), OXIDO DE AZUFRE (SO), OXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>x</sub>) Y HALOGENOS PRODUCIDOS POR EL HORNO MEDIANTE EL ESTUDIO ISOCINETICO.</u></b>	<b>51</b>
4.2.1 Descripción de equipos	51
4.2.1.1 Procedimientos utilizados.	53
4.2.2 Métodos de toma de muestra y análisis	54
4.2.2.1 Método US EPA 1. Determinación del sitio de muestreo.	54
4.2.2.2 Determinación del número de puntos transversales	54
4.2.2.3 Método US EPA 5. Determinación de la emisión de partículas	54
4.2.2.4 Método US EPA 6. Determinación de la concentración de Dióxido de Azufre.	55
4.2.3 Determinación de la altura de descarga.	56
4.2.4 Normas de emisión.	58
4.2.4.1 Resultados	59
4.2.4.2 Evidencias fotográficas	60
<b><u>4.3 DETERMINAR LOS PARÁMETROS QUE RIGEN LOS GASES GENERADOS EN EL PROCESO DE COCCIÓN PARA SER TRANSPORTADOS Y APROVECHADOS EN EL PROCESO DE SECADO DE LOS BLOQUES CERÁMICOS.</u></b>	<b>63</b>
4.3.1 Condiciones de producción para los bloques.	63
4.3.1.1 Condiciones para el secadero.	64
4.3.2 Sistema de extracción	74
4.3.2.1 Tipo de campana	75
4.3.2.2 Circuitos de extracción de humedad	77
4.3.3 Sistema de renovación de aire	86
4.3.3.1 Tipo de difusor.	87
4.3.3.2 Circuito de renovación de aire	88
4.3.4 Sistema de recuperación de los gases generados por el horno HOFFMAN.	93
4.3.5 Balance de masa del túnel de secado.	98
4.3.5.1 Mezcla a la entrada de inyección de aire	99
<b><u>4.4 ANALIZAR NUMÉRICAMENTE LA CANTIDAD DE ENERGÍA TÉRMICA DE LOS GASES PRODUCIDOS POR EL HORNO PARA EL PROCESO DE SECADO. GASES PRODUCIDOS POR EL HORNO EN EL PROCESO DE SECADO.</u></b>	<b>101</b>
<b><u>4.5 EVALUAR ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE</u></b>	<b>104</b>



**LOS GASES PRODUCIDOS POR EL HORNO EN EL PROCESO DE SECADO.**

<b><u>5. CONCLUSIONES</u></b>	<b>106</b>
<b><u>RECOMENDACIONES</u></b>	<b>108</b>
<b><u>BIBLIOGRAFIA</u></b>	<b>109</b>
<b><u>REFERENCIAS DOCUMENTALES ELECTRONICAS</u></b>	<b>110</b>
<b><u>ANEXOS</u></b>	<b>112</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Tipos de hornos usados en Colombia con su eficiencia térmica	33
Figura 2. Hornos Hoffman.	34
Figura 3: Trituración manual del carbón	42
Figura 4: Muestra lista para usarse.	42
Figura 5: Desecador	43
Figura 6: Los crisoles en el horno para el ensayo de humedad.	43
Figura 7: Crisol y tapa usados en la prueba de determinación del contenido de Materia volátil.	46
Figura 8. Bomba calorimétrica	48
Figura 9: Muestreador Isocinético Environmental Supply	52
Figura 10: Partes del Equipo Isocinético	53
Figura 11: Altura de la estructura donde se instala la chimenea	57
Figura 12: Sílica gel para evitar la humedad	60
Figura 13: Filtros limpios para toma de muestras.	60
Figura 14: Tubos impiyect en la caja fría unida al porta filtro de la caja caliente.	61
Figura 15: Montaje del equipo tomando medición.	61
Figura 16: Filtros usados para la toma de muestra.	62
Figura 17: Equipo Isocinetico.	62
Figura 18: Estantes.	65
Figura 19: Cuarto de secado.	65
Figura 20: Diagrama del secadero artificial	66
Figura 21: Panorámicas de los secaderos artificiales.	66
Figura 22: Campanas de extracción.	75
Figura 23: Campana tipo cabina.	76
Figura 24: Sistema de extracción.	77
Figura 25: Vista frontal del sistema de extracción.	78
Figura 26: Sistema de renovación de aire.	86
Figura 27: Difusor sencillo	87
Figura 28: Circuito de renovación de aire.	88
Figura 29: Vista frontal del sistema de renovación de aire.	88
Figura 30: Porción de la vista frontal del sistema de renovación	89
Figura 31: Plano de todo el diseño.	93
Figura 32: Sistema de recuperación de los gases.	93
Figura 33: Contracción gradual	94
Figura 34: Codo de 90 estándar.	95
Figura 35. Variación de la temperatura media del fluido a lo largo del tubo	96
Figura 36: Esquema del balance de masa.	98
Figura 37: Balance de masa de la zona 1-2-3.	99
Figura 38: balance masa de la zona 3-4-5.	100
Figura 39: Comportamiento de la temperatura en el ducto.	101
Figura 40: Comportamiento de la velocidad de los gases en el ducto.	102
Figura 41: Comportamiento de la presión de los gases en el ducto.	102

## LISTA DE GRAFICAS

	<b>Pág.</b>
Grafica 1: Humedad relativa en función del tiempo de secado.	70
Grafica 2: Temperatura en función del tiempo de secado.	71
Grafica 3: Humedad del material en función del tiempo de secado.	71
Grafica 4: Contracción de secado del material en función del tiempo de secado.	72
Grafica 5: Humedad relativa en función del tiempo de secado.	72
Grafica 6: Temperatura en función del tiempo de secado.	73
Grafica 7: Humedad del material en función del tiempo de secado.	73
Grafica 8: Contracción del material en función del tiempo de secado.	87

## LISTA DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Aspectos importantes de los hornos Hoffman y Túnel	34
Cuadro 2. Ventajas y desventajas de los hornos Hoffman y Túnel.	35
Cuadro 3. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.	37
Cuadro 4. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla a condiciones de referencia (25° c, 760mm Hg) con oxígeno de referencia del 18 %.	37
Cuadro 5. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla a condiciones de referencia (25° c, 760mm Hg) con oxígeno de referencia del 18 %.	38

## LISTADO DE ANEXOS.

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. Toma de datos	112
ANEXO B. Ventilador centrifugo.	122
ANEXO C. Tabla agua saturada	123
ANEXO D. Interpolación para encontrar la entalpia de dos.	124
ANEXO E. Interpolación para encontrar la energía interna.	124
ANEXO F. Extractor centrifugo de la serie <b>TCMP-1025-4T-2-F-400</b>	125
ANEXO G. Ventilador helicoidal tubular bifurcado.	128
ANEXO H. Contracción gradual.	130
ANEXO I. Diagrama de MOODY.	131
ANEXO J. Extractor axial de la serie HTP-56-2T-10-26°	134
ANEXO K. Tabla propiedades del aire A 1 ATM	134
ANEXO L. Plano del montaje.	135

## SIMBOLOGÍA.

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

$l$  = Longitud (m)

$t$  = Tiempo (s)

$m_t$  = Masa total de bloques en el secadero. (kg)

$m_{aire}$  = Masa total de aire en el secadero. (kg)

$m_{H_2O}$  = Masa de agua en el secadero. (kg)

$u$  = Energía interna (kJ/ kg)

$h$  = Entalpía (kJ/ kg)

$f$  = Factor de Fricción

$\varepsilon$  = Rugosidad (mm)

$m_{estantes}$  = Masa de los estantes ( kg)

$m_{cuarto\ secado}$  = Masa total de cuarto de secado (kg)

$\rho$  = Densidad ( $kg/m^3$ )

$C_p$  = calor específico (kJ/ kg\* °K)

$W$  = humedad del aire (kg agua/ kg aire)

$Q$  = calor (kJ)

$D_h$  = diámetro hidráulico (m)

$K$  = Conductividad térmica (W/m °K)

$\nu$  = viscosidad cinemática ( $m^2/s$ )

## **RESUMEN**

En este trabajo se realizó una investigación que buscó mejorar el proceso de secado aprovechando los gases generados por el horno Hoffman en la ladrillera Ocaña mediante la elaboración de un análisis inicial a las propiedades del carbón usado en la ladrillera, seguido de un estudio Isocinético de los gases generados por el horno Hoffman, lo cual permitió conocer los parámetros de dichos gases para poder realizar el diseño de la ducteria. De la misma manera y al conocer las condiciones de los secaderos se diseñó un sistema de extracción de humedad y renovación de aire, con el cual se busca disminuir los tiempos de secado y mejorar la condición de estos al momento de ingresarlos al horno para su cocción.

## INTRODUCCION

En la actualidad la globalización ha generado que los mercados mundiales sean cada vez más exigentes y competitivos, por ello, para que las empresas sobresalgan y se mantengan vigentes en el mercado, deben desarrollar nuevos y mejores métodos de optimización de los procesos y reducción de costos sin sacrificar la calidad de los productos.

La importancia que han adquirido las empresas ladrilleras a través de la historia, muestra que los materiales producidos por estas, son de vital importancia para la industria de la construcción y si específicamente hablamos del bloque, se puede decir que es un material que posee características idóneas que lo hace de mayor preferencia para dicha industria.

En este contexto se puede analizar, que es de vital importancia que los empresarios del ramo, se preocupen por hallar métodos que les permita encontrar mejores técnicas de producción, de esta manera se aumenta la calidad del producto, con lo cual se hacen más fuertes a nivel competitivo y a su vez obtienen mejores utilidades.

Teniendo en cuenta la necesidad de ahorrar tiempo en el proceso de secado en la fabricación de bloques de arcilla, que se realiza en la Ladrillera Ocaña, y buscando aumentar su producción, se desarrolló este estudio con la idea de reutilizar el calor residual para llevarlo a las cámaras de secado, con el fin de agilizar el proceso y hacerlo más eficiente ahorrando combustible y disminuyendo la contaminación atmosférica.

En virtud de lo anterior el presente trabajo de investigación tiene el fin de dar solución a una problemática encontrada en el proceso productivo de la Ladrillera Ocaña, como lo es el proceso de secado artificial de bloques y a su vez darle respuesta la incógnita planteada de ¿Cómo disminuir el incremento de los desperfectos presentados en el producto terminado, ante las deficiencias detectadas en el proceso de secado? lo cual se plasmará a lo largo de este trabajo.

Para el desarrollo de este proyecto se consideró, el estudio previo de las propiedades de los materiales sobre los que se trabaja, también se realizaron diferentes ensayos que permitieron analizar la curva óptima del secado bloques.

Los parámetros medidos muestran los factores que hacen de esta etapa un proceso delicado y trascendente en el transcurso de fabricación, debido a las temperaturas, humedad a extraer dentro del secadero artificial y también las propiedades que tienen los gases generados por el horno Hoffman, dentro de las que se encuentran, la humedad, velocidad, caudal y presión. La identificación de los factores se logró con pruebas realizadas dentro de la planta física de la empresa y los laboratorios de la UFPSO.

En este trabajo se desarrolló un objetivo general que fue mejorar el proceso de secado aprovechando los gases generados por el horno Hoffman en la ladrillera Ocaña y varios objetivos específicos dentro de los cuales se realizó un análisis de las propiedades del carbón usado en la ladrillera.



De la misma manera se determinó el porcentaje de contaminación que tienen los gases distribuidos en los componentes químicos tales como: material particulado (MP), óxido de azufre (SO), óxido de nitrógeno (NOx) y óxido de carbono (CO) producidos por el horno a través de un estudio isocinetico y a su vez se determinaron los parámetros que rigen los gases generados en el proceso de cocción para ser transportados y aprovechados en el proceso de secado de los bloques cerámicos.

Finalmente se analizó numéricamente la cantidad de energía térmica de los gases producidos por el horno para el proceso de secado y se evaluaron alternativas para el aprovechamiento de los gases producidos por el horno en el proceso de secado.

Así mismo se siguieron diferentes etapas como, analizar y conocer las propiedades del carbón usado en esta empresa, determinar el porcentaje de contaminación que tienen los gases distribuidos en los componentes químicos tales como: material particulado (MP), óxido de azufre (SO), óxido de nitrógeno (NOx) y halógenos producidos por el horno a través de un estudio isocinetico, rediseñar el sistema de secado y de alimentación de aire caliente y realizar planos de montaje.

El nivel de investigación utilizado fue la investigación descriptiva pues mediante los estudios a realizar se trató de plasmar de forma numérica la humedad, temperatura de los gases, contaminación ambiental, porcentaje de los componentes químicos de los gases, presión y entre otros y el diseño de la investigación es experimental tomando en cuenta que se llevaron a cabo una serie de ensayos los permitieron entender un poco más, la situación de la empresa, para lograr los resultados deseados y satisfacer las necesidades de la planta buscando el mejoramiento del proceso y aprovechando el calor residual.

En virtud de lo anterior los resultados de esta investigación son presentados mediante el desarrollo de cada uno de los objetivos propuestos.

Es importante destacar que este proyecto brindará innovación tecnológica en el diseño del sistema de secado, ya que se aprovechará la energía desechada en los gases del horno Hoffman, para el proceso de secado de los bloques y será una herramienta fundamental para la Ladrillera Ocaña, debido a que permitirá reducir las pérdidas en la producción, sacar un producto de mejor calidad y a su vez utilizar menos carbón en el secado del bloque, lo que mejorará sus ingresos, disminuirá la contaminación atmosférica y aprovechara la energía de los gases del horno.

# **1. APROVECHAMIENTO DE LOS GASES GENERADOS POR EL HORNO HOFFMAN PARA MEJORAR LA ZONA DE SECADO EN LA LADRILLERA OCAÑA**

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los productos fabricados a base de material arcilloso han generado impacto social, ambiental y económico, motivo por el que las empresas han visto la necesidad de tecnificar sus procesos con el fin de mejorar la eficiencia de su producción y calidad de sus productos.

En este momento el país cuenta con un total de mil novecientos veinte cuatro unidades productoras de ladrillo, de las cuales el 88% está en operación. Dentro de esta cifra el Norte de Santander es uno de los departamentos pioneros en la producción nacional, representando el 14.3% del total fabricado. La industria alfarera nacional tiene entre sus principales líneas de producción el bloque H10 a base a material arcilloso, cuyas especificaciones técnicas vienen en constante ajuste a los requerimientos ambientales. Esta línea de producción es el resultado de diferentes procesos de mejoramiento en peso, tamaño y calidad, lo cual ha propiciado la demanda en el gremio de la construcción en el país.

La Ladrillera Ocaña viene fabricando el bloque H10 con oferta en la provincia de Ocaña, municipios del sur del Cesar y sur de Bolívar. El método de producción tradicional en la Ladrillera Ocaña está conllevando a que el producto terminado no cuente con los suficientes estándares de calidad debido a la poca tecnificación en los procesos y procedimientos efectuados y así como la carencia de mano de obra calificada hacen que se presenten deficiencias en la funcionalidad del producto.

Teniendo en cuenta que la planta cuenta con un proceso productivo en serie, iniciando con la molienda de la materia prima, extrusión, secado y cocción; dentro de las cuales una de las etapas con mayor impacto es el secado, debido a que es donde se presentan fallas en el proceso de transformación de materias primas, produciendo fisuras, contracciones de las piezas y secado no uniforme, situación que ocasiona retrasos, pérdidas y mala calidad del producto.

Durante la etapa de secado se lleva el bloque de los 80 a 170 °C, debiendo eliminar el agua agregada en la fase de moldeado, para de esta manera pasar a la fase de cocción y evitar las fisuras y quiebre del producto; en la actualidad la ladrillera Ocaña no viene ejecutando de manera óptima la etapa de secado, ocasionando pérdidas de producto, descompensación financiera, retrasos en entrega, factores que gradualmente impactan negativamente en el funcionamiento y sostenibilidad de esta empresa industrial de la ciudad de Ocaña.

Otra variable ambiental incidente en la operatividad de la Ladrillera Ocaña es el desaprovechamiento del calor residual generados en la etapa de cocción del producto líder, el bloque H10, ocasionando una densa capa de CO<sub>2</sub>, Azufre y material particulado, que diariamente tiene salida a cielo abierto y por condiciones naturales de

los gases ocasionan contaminación en el medio natural a donde llega el accionar de dichas sustancias.

Referente a esta fase es importante indicar que hasta el momento la Ladrillera Ocaña no ha asumido la implementación de mecanismos de innovación y tecnología en las diferentes etapas del proceso productivo, lo cual no ha contribuido a la proyección y ejecución de planes o estrategias que mitiguen y controlen las emisiones de gases en la fase de cocción, dichos gases en la actualidad están originando la contaminación de la atmosfera, las fuentes hídricas y el desmejoramiento en la calidad del aire para la comunidad de la zona.

De continuar esta situación la Ladrillera Ocaña no estará asumiendo procesos de innovación y desarrollo que propendan por su sostenimiento en el tiempo, crecimiento y competitividad ambiental, teniendo en cuenta que esta industria trabaja con un producto no renovable.

## **1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Cómo disminuir los incrementos de los desperfectos presentados en el producto terminado en la Ladrillera Ocaña, ante las deficiencias detectadas en el proceso de secado?

## **1.3 OBJETIVOS**

**1.3.1 General.** Mejorar el proceso de secado aprovechando los gases generados por el horno Hoffman en la ladrillera Ocaña.

**1.3.2 Específicos.** Realizar un análisis de las propiedades del carbón usado en la ladrillera.

Determinar el porcentaje de contaminación que tienen los gases distribuidos en los componentes químicos tales como: material particulado (MP), óxido de azufre (SO), óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y halógenos, producidos por el horno a través de un estudio isocinetico.

Determinar los parámetros que rigen los gases generados en el proceso de cocción para ser transportados y aprovechados en el proceso de secado de los bloques cerámicos.

Analizar numéricamente la cantidad de energía térmica de los gases producidos por el horno para el proceso de secado.

Evaluar alternativas para el aprovechamiento de los gases producidos por el horno en el proceso de secado.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Con la necesidad de ahorrar tiempo en el proceso de secado en la fabricación de bloques de arcilla, y buscando aumentar la producción, la empresa ha estudiado la idea

de reutilizar ese calor residual para llevarlo a las cámaras de secado con el fin de agilizar el proceso y hacerlo más eficiente ahorrando combustible y disminuyendo la contaminación atmosférica.

Hoy día se presentan muchos inconvenientes a la hora de realizar el secado, ya que se están desechando los gases producidos por el horno, en vez de reutilizar esa energía y llevarla a la cámara de secado para bloques arcillosos. El proceso actual de secado que se lleva a cabo contiene una serie de variables como: tensiones que pueden haber tenido lugar durante el moldeo, diseño y formato de la pieza, uniformidad o desuniformidad del secado, que juegan un papel importante en el proceso y que de no regularse pueden generar imperfecciones en el producto final.

Con este trabajo se busca poner en práctica los conocimientos adquiridos durante el transcurso del programa de ingeniería mecánica, enfocándonos en la línea térmica para el proceso de recirculación de gases en la etapa del secado de los bloques de arcilla y en la cual se busca investigar sobre la emisión de gases producidos por el horno, con el fin de realizar un diseño que permita la recirculación de los gases y así poder transportarlos a las cámaras de secado. Para efectuar todo esto, es fundamental estudiar los parámetros que rigen estos gases son principalmente su temperatura, presión y composición química. Además, para el cumplimiento de los objetivos propuestos para este proyecto, es clave utilizar herramientas computacionales, los cuales permitirán simular el análisis térmico de dichos gases y los beneficios de los mismos para la optimización de recursos en el proceso productivo, y así poder contribuir al mejoramiento continuo de los procedimientos y procesos que se llevan a cabo en la planta de producción, garantizando el aumento de la producción y por ende mayor competitividad en el mercado, generando incremento en los ingresos o utilidades de la empresa.

## **1.5 DELIMITACIONES**

**1.5.1 Geográfica.** El trabajo se realizó en la planta física de la LADRILLERA OCAÑA, teniendo en cuenta que es el lugar donde se encuentra el área para efectuar el proyecto.

**1.5.2 Conceptual.** La temática del proyecto se enmarco en los siguientes temas y subtemas: calores residuales provenientes del proceso de cocción del ladrillo, el secado y los gases calientes provenientes del horno, tipos de hornos y secaderos. Esto permitió determinar los parámetros para aprovechar los gases provenientes de la etapa de cocción en la producción.

**1.5.3 Operativa.** El cumplimiento de los objetivos del siguiente estudio puede ser afectado por distintos factores. De surgir en el desarrollo del mismo, algún inconveniente que amerite modificaciones significativas, estas serán consultadas con el director del mismo y comunicadas al Comité Curricular.

**1.5.4 Temporal.** El presente proyecto tendrá una duración aproximada de 12 semanas a partir de la fecha de aprobación del anteproyecto.

## 1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

**1.6.1 Alcances.** El proyecto implica la formulación de una propuesta que permita estudiar, diseñar y mejorar el proceso de secado del bloque de la Ladrillera Ocaña.

**1.6.2 Limitaciones.** Esta limitación es de tipo técnica, debido a que la ladrillera Ocaña cuenta con un horno Hoffman el cual condiciona el estudio realizado en la ejecución de este proyecto, ya que el objetivo principal es aprovechar los gases calientes provenientes de la etapa de cocción para el proceso de secado; buscando un ahorro de combustible, agilizar y optimizar el proceso.

Con este estudio sólo se pretende plantear varias alternativas que ayuden en el mejoramiento del proceso de producción haciendo énfasis en la zona de secado.

## 2. MARCO DE REFERENCIAL

### 2.1 MARCO HISTÓRICO

#### **2.1.1 Antecedentes históricos de la industria de la cerámica a nivel internacional.**

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 ocupan un lugar destacado tanto las arcillas, como las fritas, esmaltes y colorantes). Segundo, la obtención del producto acabado, 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.

Dirección general de electricidad. Ministerio de energía y minas. (2008). Propone una guía de orientación para el uso eficiente de la energía en las industrias ladrilleras de Perú. La guía analiza que existe una tasa de reducción de la energía eléctrica en las ladrilleras que oscila entre un 5% - 15% en energía eléctrica y 10% - 25% en energía térmica, cabe resaltar que estos rangos son referenciales y varían de acuerdo al tamaño de instalación y el volumen de producción. Existen oportunidades de ahorro de energía que involucran retornos de inversión entre 2 y 4 años. En varias plantas ladrilleras se utiliza en mayor proporción energía térmica.

Con esta guía se pudo mostrar que la distribución porcentual del consumo de energía eléctrica y térmica varía según se compare en términos de energía o en términos de facturación. En el caso de una planta que consume mensualmente 298 026 MW.h de electricidad y 52 746 galones de petróleo se encontró que la distribución en términos de energía es 12% en electricidad y 88% en combustible. Sin embargo, en términos de facturación, la electricidad representa el 19% y el combustible representa el 81% <sup>[1]</sup>

La guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales,(2010) este trabajo tiene como objetivo primordial servir a las pequeñas ladrilleras artesanales en la identificación de medidas prácticas y de sentido común que puedan ser aplicables para minimizar los costos de producción, aumentar la productividad y mejorar la gestión comercial, empleando procesos productivos de bajo impacto ambiental.

De igual forma, se obtuvieron resultados debido al personal que tomo conciencia y conocimientos acerca de tener un horno que no genere contaminación al medio ambiente lo que hace que tengan una mejor proyección hacia el futuro mejorando la calidad del producto y obteniendo rentabilidad para las pequeñas ladrilleras de la localidad de Arequipa ubicada en Perú <sup>[2]</sup>.

---

<sup>1</sup> Dirección general de electricidad, Ministerio de energía y minas, Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnósticos Energéticos.

Industrias Ladrilleras en Perú, [En línea]. Actualizado en el 2008. [Citado el 06 de junio de 2013]. Disponible en Internet En: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Guia06%20Ladrillero.pdf>

<sup>2</sup> GUIA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LADRILLERAS ARTESANALLES. Perú. [En línea]. Actualizado en el 2010. [Citado el 25 de junio de 2013] Disponible en internet: <<http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/2/jer/AMBIENTE/guia-de-buenas-practicas-ladrilleras-artesanales.pdf>>

REGUEIRO, Manuel. (2002), analiza la situación de la industria de la cerámica en los cuales muestra los principales problemas que afrontan las ladrilleras del país, y el crecimiento que está obteniendo especialmente en el campo de la construcción teniendo en cuenta la materia prima que se desarrolla en la zona buscando conocerlas características de la misma.

Conforme a la investigación realizada con las ladrilleras se demostró que existe una gran variedad de clases de materia arcillosa que sirve para diferentes tipos de productos y que ayudan al crecimiento de la industria tanto de la cerámica como la del vidrio buscando ahorrar costos y obteniendo calidad en los productos fabricados<sup>[3]</sup>.

**2.1.2 Antecedentes históricos de la industria de la cerámica a nivel nacional.**<sup>[4]</sup> COLCIENCIAS, analiza el estudio sobre la industria de la cerámica en la cual propone diferentes formas de cómo aprovechar la energía que se desperdicia en las diferentes fases del proceso productivo.

De acuerdo con la investigación presentada se mostró que si existen diferentes formas de poder ahorrar energía en el proceso y poderla utilizar en otros procesos como son en la etapa de cocción que se generan gases que sirven para el proceso de cocción o también en la parte de cogeneración para las fases de extrusión y moldeo. Con este trabajo se buscó que muchas empresas se dieran cuenta lo importante que es el ahorro de la energía en el proceso para poder poner en marcha en cualquier planta productora.<sup>[4]</sup>

Programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de América Latina para mitigar el cambio climático, Nemocón – Colombia (2011),<sup>[3]</sup> propone buscar alternativas que ayuden a asistir técnicamente a las personas involucradas en los procesos de producción del ladrillo brindándoles capacitaciones y asesorías especializadas para mejorar sus competencias en los ámbitos ambientales, productivos y empresariales que permitan optimizar sus procesos de fabricación, incrementando la calidad de sus productos y desarrollando acciones de mejoramiento ambiental que mitiguen el impacto ambiental causado por dicha actividad.

Las estrategias utilizadas en este programa fueron estrictas pero muchas de las personas se dieron de cuenta la importancia que tiene la clase de horno que tenga su ladrillera pues muchos de los hornos generan contaminaciones ambientales que hacen que incumplan las normas ambientales, lo cual genera un impacto ambiental negativo para el planeta para lo cual tuvieron una visión acerca de implementar tecnología y automatizar el proceso productivo.<sup>[5]</sup>

---

<sup>3</sup> Criado, E. (2001). La industria cerámica en España. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 40(6), 413-428.

<sup>4</sup> COLCIENCIAS, Ahorro de energía en la industria cerámica. Colombia. [En línea] Actualizado en 2007. [Citado el 5 de junio de 2013] Disponible en internet: <<http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Procesos/ceramica.pdf>>

<sup>5</sup> Programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de América Latina para mitigar el cambio climático, Nemocón – Colombia, [En línea]. Actualizado en el 2011. [Citado el 07 de junio de 2013] Disponible en internet: <[http://www.corporacionambientalempresarial.org.co/documentos/740\\_Estudio\\_tecnologico.pdf](http://www.corporacionambientalempresarial.org.co/documentos/740_Estudio_tecnologico.pdf)>

Caracterización de los hornos usados en la industria ladrillera (2011), El programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales proponen una clasificación de las diferentes clases de hornos ladrilleros que existen en las cuales resaltan tres grandes clases de hornos los cuales son intermitentes, semicontinuos y continuos.

Con este programa se busca conocer las ventajas y desventajas que tienen los diferentes hornos en los cuales los más rentables para la industria ladrillera son los hornos continuos debido a que presentan un mayor rendimiento térmico y menor contaminación al medio ambiente.<sup>[6]</sup>

**2.1.3 Antecedentes históricos de la industria de la cerámica a nivel local.**<sup>[7]</sup> En el ámbito local no se ha presentado un estudio detallado acerca de la industria de la cerámica sin embargo se han presentado formas de mejorar el proceso del bloque de arcilla fabricado en la región en la fase del secado.

Según Daniel Alonso Carrillo Carvajalino y Sergio Andrés Saravia Mejía. (2012) realizaron un estudio acerca del análisis del sistema actual de secado de bloques en la empresa ladrillera Ocaña.

Con el estudio realizado al sistema actual de secado artificial de bloques de arcilla en la empresa ladrillera Ocaña se mostró el comportamiento de cada una de las variables que intervienen en el proceso las cuales ayudaron a la toma de decisiones buscando mejorar la producción y eficiencia. En esta investigación se consideró, entre otros el estudio previo de las propiedades de los materiales sobre los que se trabaja, también se realizaron ensayos en la planta física de la empresa y los laboratorios de la universidad para determinar la curva óptima de secado de bloques de arcilla y se seleccionó el extractor de humedad más apropiado que mejorara la calidad del producto.<sup>[7]</sup>

## 2.2 ESTADO DEL ARTE

Según Miguel Condorí y Marcelo Gea. (2001) en el artículo propuesto en la utilización directa de los gases de combustión de un horno de cocción en el secado de ladrillos cerámicos, describe el acondicionamiento térmico de una planta local de ladrillos cerámicos para adecuarla a un uso racional de la energía. Se plantea la utilización directa de los gases de combustión de un horno de cocción como fuente de energía para el secado de los ladrillos. Los gases se acondicionan para bajar su temperatura y su contenido de agua mediante la dilución con aire más seco calentado en forma indirecta por el horno. Se plantean mejoras en la planta de producción para disminuir las pérdidas térmicas y mejorar los ciclos productivos del secador utilizando la recuperación de los gases. Al cual describen los cambios introducidos y los cálculos para acondicionar la planta de producción. Se detalla el programa computacional elaborado para resolver los

---

<sup>6</sup> CARACTERIZACIÓN DE LOS HORNOS USADOS EN LA INDUSTRIA ladrillera proyecto en Colombia. [En línea]. Actualizado en el 2011. [Citado el 25 de junio de 2013] Disponible en internet: <<http://es.scribd.com/doc/129649608/740-Estudio-tecnologico>>

<sup>7</sup> CARRILLO CARVAJALINO, Daniel Alonso y SARAVIA MEJIA, Sergio Andrés. Análisis del sistema actual de secado de bloques en la empresa ladrillera Ocaña y propuesta de mejoramiento. Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. Ocaña N.S: Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingenierías. 2013.



distintos procesos del aire. Los resultados muestran una mejora del 50 % respecto del consumo de gas natural que tiene actualmente la planta. <sup>[8]</sup>

Según René Nava M. (2002) Realizo un análisis teórico del secado de ladrillos en un horno continuo, en la cual el objetivo principal de este trabajo fue desarrollar un simulador para la descripción matemática del comportamiento de un ladrillo en el interior de un secadero continuo, partiendo de las ecuaciones diferenciales de la conservación de masa y de la conservación de energía para un volumen de control de tamaño infinitesimal.

Los resultados obtenidos a través de la solución numérica arrojaron los perfiles de temperatura y humedad en el interior del secador en el cual se aproximan a las teorías experimentales que existentes. <sup>[9]</sup>

Según José Luís Castillo R. y Edgar Pinzón M. (2008) realizaron un estudio acerca del análisis y rediseño del sistema de secado de tejas en la empresa arcillas del oriente Ltda. Este proyecto busca mejorar el proceso de secado de tejas en la planta. Con el rediseño del sistema actual se busca agilizar el proceso de secado de Estas piezas, así como aprovechar la energía que se pierde por los humos Producidos en el proceso de cocción en el horno Hoffman para así mejorar la Producción y eficiencia del proceso. También se busca por medio de este investigar el proceso de secado el cual presenta problemas en la obtención del producto final; para mejorar su calidad buscando liderar el mercado regional, nacional e internacional.

Una vez realizado los estudios y los cálculos correspondientes se pudo determinar que el calor suministrado por los gases del horno Hoffman es suficiente para poder ser mezclados con aire ambiente, logrando el flujo de aire necesario para el secado ideal de la teja. <sup>[10]</sup>

Según Carlos A. Gómez G. (2010) Realizo un modelamiento y simulación de un horno túnel industrial el cual permitió desarrollar la simulación de los fenómenos de transferencia de energía entre gases y el producto durante la cocción del ladrillo en un horno túnel.

Para la solución del modelo y su respectiva simulación se utilizó como herramienta computacional el CFD (Fluido Dinámica Computacional), utilizado para resolver procesos gobernados por la transferencia de masa, momento, energía. El modelo fue

---

<sup>8</sup> CONDORI, Miguel y GEA, Marcelo. Universidad Nacional de Salta. Utilización directa de los gases de combustión de un horno de cocción en el secado de ladrillos cerámicos. [En línea], 2001[citado el 25 junio 2013]. [Argentina Salta]. Disponible en internet: <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2001/2001-t006-a008.pdf>

<sup>9</sup> Nava M, René. Instituto Politécnico Nacional. Análisis teórico del secado de ladrillos en un horno continuo. Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. [En línea], 2002[citado el 20 junio 2013]. [México D.F]. Disponible en internet:<http://www.bibliosepi.esimez.ipn.mx/mecanica/2002/Analisis%20teorico%20de%20un%20horno%20continuo%20para%20el%20secado%20de%20ladrillos.pdf>

<sup>10</sup> CASTILLO RODRIGUEZ, José Luis. y Pinzón Mantilla, Edgar (2008). Análisis y rediseño del sistema de secado de tejas en la empresa arcillas del oriente Ltda. Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. San José Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingenierías. 2008.

satisfactoriamente validado con las curvas de cocción con carbón y fueron realmente medidas en el horno túnel de la Empresa Ladrillera San Cristóbal S.A., permitiendo predecir el comportamiento térmico del horno.<sup>[11]</sup>

Según Silvia L. Mantilla P. y Lorenzo Ardidia S. (2011) plantearon desarrollar una propuesta de optimización energética de los hornos colmena de la empresa ladrillos y acabados S.A.S

Con este proyecto de grado se busca optimizar los procesos productivos y disminuir la contaminación producida debido a las exigencias ambientales vigentes generadas por las industrias cerámicas, estudiando la combustión del carbón en los hornos tipo colmena y haciendo un análisis de causa raíz para determinar qué factores tienen mayor impacto en la eficiencia térmica del proceso.

Se determinó que es necesario implementar un sistema de inyección de carbón pulverizado para la quema del combustible para mejorar la eficiencia del proceso de combustión, disminuir el consumo de carbón y las emisiones contaminantes.<sup>[12]</sup>

De igual modo Gerson O. Antolinez P. y Leonardo Murillo O. (2012) hicieron un diseño de un túnel de secado para productos cerámicos elaborados en el tejar san Gerardo de la ciudad de Cúcuta.

Con este trabajo se buscó optimizar el proceso aumentando las eficiencias térmicas en la etapa de secado y así obtener un producto deseado.<sup>[13]</sup>

Según el estudio desarrollado por la Universidad Javeriana realizaron un rediseño de los procesos productivos mediante la reconversión tecnológica para las pequeñas ladrilleras ubicadas en el parque minero industrial el mochuelo localidad de Ciudad Bolívar, utilizando la ladrillera “LUISBOR” como base de estudio.

En el desarrollo de este trabajo se encuentra un diagnóstico relacionado con la situación actual de la ladrillera Luisbor, en la cual se analizan los procesos y tecnologías utilizados en la empresa. De esta forma se establecen las necesidades actuales y las mejoras relacionadas con estos aspectos que permitan el fortalecimiento de la ladrillera y su competitividad en el sector de la cerámica, buscando mejorar aumentar su rentabilidad y el ambiente laboral de los trabajadores. Al igual disminuir desperdicios,

---

<sup>11</sup> Gómez G, Carlos A. Universidad Nacional de Colombia. Modelamiento y simulación de un horno túnel industrial. [En línea], 2010. [Citado el 20 de junio 2013]. [Colombia Medellín]. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1882/1/71265369.2010.pdf>

<sup>12</sup> Mantilla Parra, Silvia Lucia y ARDILA SANCHEZ, Lorenzo. (2011) propuesta de optimización energética de los hornos colmena de la empresa ladrillos y acabados s.a.s. Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. Bucaramanga Santander: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisico-mecánicas. Disponible en internet: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6045/2/142225.pdf>

<sup>13</sup> ANTOLINEZ PALENCIA, Gerson Oswaldo y MURILLO ORTIZ, Leonardo (2012) Diseño de un túnel de secado para productos cerámicos elaborados en el tejar san Gerardo de la ciudad de Cúcuta. Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. San José Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingenierías.

demoras o reproceso haciendo que el proceso productivo. Este enlazado con tecnología para así controlar el proceso y hacerlo más eficiente.<sup>[14]</sup>

## **2.3 MARCO CONCEPTUAL**

Hoy día, en cualquier fábrica de ladrillos, se llevan a cabo una serie de procesos estándar que comprenden desde la elección del material arcilloso, al proceso de empaquetado final. A continuación se presentan algunas fases, variables y programas de eficiencias energéticas en las ladrilleras que se deben tener en cuenta en el proceso productivo:

**2.3.1 Procesos de producción de la industria ladrillera.** La fabricación de líneas de la industria ladrillera en Colombia comprende fases generales como son la molienda, extrusión, secado y cocción dentro de las cuales haremos énfasis en la fase de secado la cual se describe a continuación.

**2.3.1.1 Proceso de secado.** El presente proyecto de investigación tiene como eje principal la etapa de secado dentro de la Ladrillera Ocaña, razón por la que se resalta su naturaleza e importancia, reiterando que es una de las fases más delicadas del proceso de producción del bloque H10.

Del secado del producto depende el óptimo resultado y calidad del material, más que nada en lo que respecta a la ausencia de fisuras. El secado tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de moldeado para, de esta manera, poder pasar a la fase de cocción.

Esta fase se realiza en secaderos. Se hace circular aire, de un extremo a otro, por el interior del secadero. Lo más normal es que la eliminación del agua, del material crudo, se lleve a cabo insuflando, superficialmente, al material, aire caliente con una cantidad de humedad variable. Eso permite evitar golpes termo higrométricos que puedan producir una disminución de la masa de agua a ritmos diferentes en distintas zonas del material y, por lo tanto, a producir fisuras localizadas. Las temperaturas en el proceso de secado llegan a los 170 °C. Este aire de secado, proviene del horno, que aprovechan las temperaturas con las que se cuecen para secar las piezas. Una vez secadas las piezas, se dirigen al horno.

**2.3.1.2 Humedad.** Es la masa de transportada por la unidad de masa de aire seco.

**2.3.1.3 Humedad relativa.** Es la capacidad que tiene el aire para absorber vapor de agua que hay realmente en el aire analizado (humedad absoluta) y el que podría llegar a contener si todo el aire estuviera saturado (humedad de saturación, para eso se necesita energía calorífica) por lo que esta temperatura depende de la temperatura del aire. La temperatura se mide en porcentaje (%).

---

<sup>14</sup> Universidad Pontífice Javeriana. Bogotá. (2004) Rediseño de los procesos productivos mediante la reconversión tecnológica para las pequeñas ladrilleras ubicadas en el parque minero industrial el mochuelo localidad de Ciudad Bolívar, utilizando la ladrillera “LUISBOR”.

La humedad relativa se puede medir mediante un instrumento denominado higrómetro; también con un termómetro bulbo húmedo, se mide la temperatura húmeda y puede obtenerse la humedad relativa, mediante el ábaco higrométrico. Para una humedad absoluta determinada, la humedad relativa aumenta cuando desciende la temperatura.

**2.3.1.4 Optimización del proceso de secado.** Pretende lograr el secado de las piezas con el mínimo consumo térmico y eléctrico sin que se produzcan roturas.

**Cocción.** La cocción es la fase más importante y delicada del proceso de fabricación de productos cerámicos. En este proceso se confiere a la pieza las propiedades deseadas, al mismo tiempo que se muestra si las fases precedentes (amasado, moldeo y secado) se han llevado a cabo correctamente o no. Las piezas se cuecen en hornos, a una temperatura que va desde 875° C hasta algo más de 1000°C.

**Calor residual.** Es el contenido de un producto en un proceso, que puede ser aprovechado con el fin de recoger y distribuir el calor para reutilizarlo en otra etapa del proceso productivo y disminuir la temperatura de emisión de gases de manera que se reduzca la contaminación al medio ambiente.

**Utilización de fundentes.** Una vía importante para incrementar la eficiencia energética son los fundentes, que son componentes de bajo punto de fusión que se combinan con aluminios-silicatos presentes en las arcillas reduciendo las temperaturas de fusión de las mismas. Los fundentes son los encargados de disminuir las temperaturas a la que ocurre el proceso de sinterización durante el tratamiento térmico de las arcillas.<sup>[15]</sup> El proceso de sinterización es un calentamiento, con la finalidad de aglomerar pequeñas partículas en un todo y para que ocurra debe desarrollarse una unión a través de la formación de una fase líquida o por difusión sólida.

Existen diferentes fundentes: el fedespato, el carbonato de calcio, el cuarzo, el plomo, sodio, el potasio y el vidrio molido. Que son los encargados de bajar la temperatura de vitrificación, reducir el tiempo de cocción y ahorrar energía.

**Energías renovables.** A pesar de la gran contaminación que afronta el planeta una forma de ahorrar energía y de generar nuevas formas son los aprovechamientos que se hacen a través de residuos. La biomasa es un combustible capaz de cubrir en muchos casos las necesidades de los combustibles fósiles.

La biomasa residual sólida se presenta como un combustible alternativo capaz de mitigar problemas en las industrias que necesiten calor para sus procesos, su interés incide en el poder calorífico para el sector industrial y su bajo costo. Algunos ejemplos de este tipo de biomasa son la cascara de almendra, el orujillo, las podas frutales, el aserrín, el hueso de la aceituna entre otros, que sirven para ser reemplazo de los

---

<sup>15</sup> Toctaquiza Naranjo, Olga Isabel, (2008) Optimización del Proceso de Cocción en la Producción de Ladrillos de Cerámica Roja en el Cantón Chambo. Trabajo de grado. Ingeniería química. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de ciencias. Disponible en internet: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/240/1/96T00107.pdf>

combustibles fósiles en procesos industriales donde se necesite aporte térmico, como son el secado, la producción de agua caliente, vapor, aceite térmico etc.<sup>[16]</sup>

**Calidad de aire.** Existen formas de monitorear la calidad del aire a través de emisiones generadas en el proceso de la combustión expulsados por medio de la chimenea y también analizando las emisiones que se encuentran dispersos en el ambiente, utilizando como herramientas necesarias analizadores de gases las cuales me determinan la calidad del aire y sus diferentes porcentajes de componentes químicos.<sup>[17]</sup>

## 2.4 MARCO TEÓRICO

A continuación se enuncian algunas teorías las cuales nos ayudan a conocer parámetros que nos sirven para reutilizar los gases producidos por el horno.

Para Colciencias, la industria de la cerámica actualmente los gases producidos en el proceso de cocción, son una fuente de ahorrar y hacer que el proceso sea más eficiente aprovechando este calor residual para el proceso de secado reduciendo de una forma más rápida el contenido de humedad de las piezas, pero teniendo en cuenta parámetros como son la contracción, agrietamientos y roturas de las piezas.

El objetivo de este calor generado es que se aproveche en otras etapas del proceso, pero no todo el calor puede ser recuperado debido a que depende entre otras cosas de la temperatura de salida de los humos, de su contenido de azufre, de la carga y la clase horno. A continuación se mencionan las tres clases de hornos más utilizados y los tipos de secaderos.

**Hornos intermitentes.** Son hornos de cámaras individuales o en batería, en los que los productos, la instalación de la cocción y la de enfriamiento quedan en posición fija durante la totalidad del ciclo.

**Hornos semicontinuos.** Se entiende con esta denominación un horno semejante al continuo en cuanto a la carga del producto, sobre vagones y el recorrido de éstos en galería (túnel), pero que se diferencian del continuo porque todos los vagones cargados en 1 turno o 2 turnos de trabajo deben ser introducidos completamente en la galería, sin almacenamiento de reserva.

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

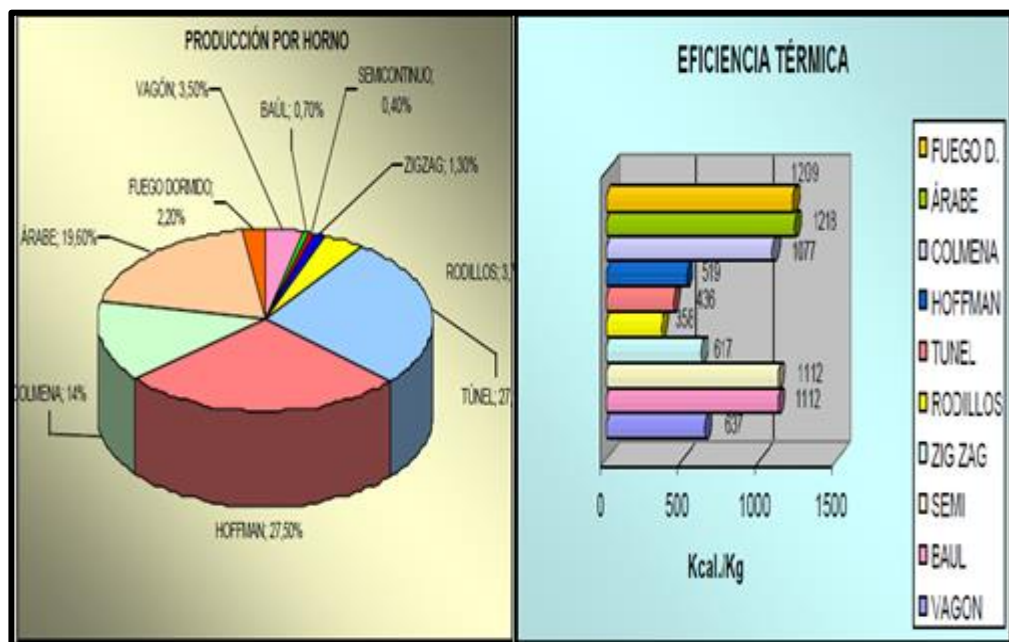
---

<sup>16</sup> BIOMASA INDUSTRIA, IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). España. [En línea]. Actualizado en el 2008. [Citado el 15 de junio de 2013] Disponible en internet: <[http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_10980\\_Biomasa\\_industria\\_A2008\\_A\\_402485e2.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10980_Biomasa_industria_A2008_A_402485e2.pdf)> p. 5 de 44.

<sup>17</sup>TESTO.com, Análisis de gases de combustión en la Industria. Colombia. [En línea]. Actualizado en el 2007. [Citado el 10 de junio de 2013]. Disponible en internet: <[http://www.testo.com/online/embedded/Sites/ARG/SharedDocuments/Downloads/Guia\\_emisiones.pdf](http://www.testo.com/online/embedded/Sites/ARG/SharedDocuments/Downloads/Guia_emisiones.pdf)>

Dentro de esta clase se encuentran los hornos Hoffman y los túneles que son los más utilizados debido a la eficiencia energética de los mismos, sin embargo cabe resaltar que los hornos túnel contienen un rendimiento térmico del 70-75%, mientras que el horno Hoffman oscila entre 50-55%. La eficiencia energética de los dos tipos de hornos es diferente, el horno túnel tiene un consumo específico de 436kcal/kg frente a las 519 Kcal/kg del horno Hoffman. A continuación se muestra una gráfica en la cual se mencionan las clases de hornos y su porcentaje en la eficiencia térmica a nivel nacional.

Figura 1. Tipos de hornos usados en Colombia con su eficiencia térmica correspondiente.



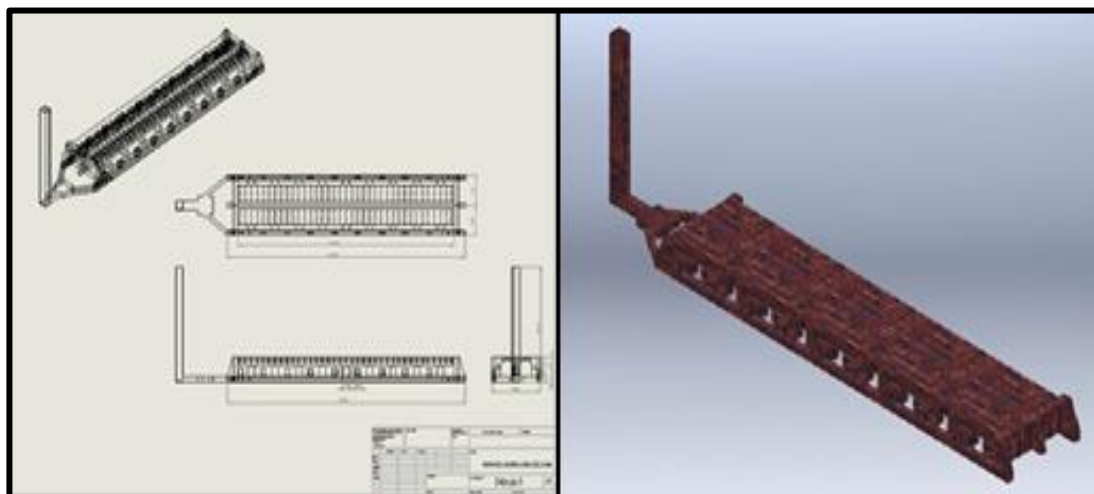
Fuente: Estudio hecho por la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá.

De acuerdo a la anterior grafica podemos observar como los hornos Hoffman, Túnel se consideran como hornos tecnificados porque tienen alta capacidad de producción y menores niveles de contaminación, con relación a los demás tipos de hornos, además presentan mejor eficiencia térmica porque realizan recuperación de calor.

A continuación se presentan algunos aspectos importantes de los hornos Hoffman y el túnel. Sin embargo presentan una eficiencia térmica muy baja con respecto a los otros hornos pero teniendo en cuenta que cumplen con las normas ambientales vigentes.

Actualmente la empresa ladrillera Ocaña cuenta con un horno Hoffman que debido a sus condiciones cumple los requisitos puestos en el proyecto. Sin embargo debido a la falta de planeación no tuvieron en cuenta la zona de secado que queda retirada del horno lo que imposibilita el aprovechamiento de los gases producidos por el horno lo que ocasiona altos costos a la hora de transportar el calor residual a la zona del secado por medio de ductos con aislamiento térmico.

Figura 2. Hornos Hoffman.



Fuente: Autores del proyecto.

Cuadro 1. Aspectos importantes de los hornos Hoffman y Túnel

<b>CRITERIOS</b>	<b>HORNO HOFFMAN</b>	<b>HORNO TUNEL</b>
Capacidad de Horno	ALTA	ALTA
Tipo de Horno	CONTINUO	CONTINUO
Permite cambiar a otro combustible	SI	SI
Homogeneidad de Temperatura	BUENA	BUENA
Permite recuperar calor para el secado	SI	SI
Emisiones a la Atmosfera	BAJAS	BAJAS

Fuente: Programa de eficiencias energéticas en las ladrilleras artesanales.

Cuadro 1. (Continuación)

<b>CRITERIOS</b>	<b>HORNO HOFFMAN</b>	<b>HORNO TUNEL</b>
Posibilidad de cumplir las normas de emisiones	MEDIANAS	ALTAS
Perdida de producción	REGULAR	BAJA
Calidad del producto	OPTIMA	OPTIMA

Fuente: Programa de eficiencias energéticas en las ladrilleras artesanales.

Cuadro 2. Ventajas y desventajas de los hornos Hoffman y Túnel.

TIPO DE HORNO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
HORNO HOFFMAN	Bajo consumo de energía.	Muchas pérdidas de producción.
	Bajo costo para la construcción.	Hay contaminación.
HORNO TUNEL	Carga y descarga sencilla.	Alto costo inicial para su construcción.
	Ahorro de combustible y alta eficiencia térmica	Altos costos de mantenimiento de los accesorios del horno.

Fuente: Programa de eficiencias energéticas en las ladrilleras artesanales.

### **Tipos de secaderos.**

**Secaderos de cámara.** Permiten un buen control en las condiciones de secado, ya que el aire puede ser alimentado y controlado a voluntad durante todo el proceso; en consecuencia se instalan en aquellos casos en que se fabrican una gran diversidad de piezas que requieren ciclos y condiciones diferentes de secado.

No hay que olvidar que entre el 85% y el 95% del calor suministrado al secadero se pierde por los gases de evacuación, como calor absorbido por el agua para pasar el estado de vapor y calor empleado en elevar la temperatura de dichos gases.

Estos secaderos se dejaron de instalar a finales de los 70 por el costo que suponía el número de ventiladores instalados, el mayor consumo eléctrico y el mantenimiento requerido.

**Secaderos continuos y semicontinuos.** Se logra mejor rendimiento que en las cámaras, requiriendo menor mano de obra, pero el costo de la inversión es más elevado. En general en estos secaderos las piezas se cargan sobre carretillas las cuales circulan por unas vías dispuestas a lo largo del túnel de secado.

En los secaderos semicontinuos la entrada de carretillas al interior de los secaderos se realiza solo, mientras funciona la extrusión.

En cuanto a los circuitos de aire que componen estos tipos de secaderos son básicamente tres: de impulsión, de recirculación y extracción.

**Secaderos con material apilado directamente sobre vagonetas de horno o plataforma metálica.** Es un secadero continuo y por lo tanto requiere una reserva de material verde para alimentar al secadero en las horas de inactividad de la sección de moldeo.



Tiene la ventaja de que las piezas solo se manipulan a la salida de la galletera y por lo tanto se evitan los descantillados que se pueden producir durante la manipulación de las piezas secas.

Con este secaderos se consigue los mejores rendimientos térmicos, pues se aprovecha el poder secante del aire de la fábrica durante las horas que el material permanece en las vías de reserva y no se producen pérdidas de calor sensible a la salida del material del secadero, ya que entra inmediatamente al horno y además se evita el revenido.

**Secaderos rápidos.** Estuvo en auge en los 70 cuando el combustible era económico, hoy en día se utiliza menos que los secaderos descritos anteriormente.

Tiene la ventaja de un costo menor en la inversión e inmovilizado, presentándose para el secado de piezas huecas y paredes delgadas.

El consumo de combustible es alto, pues para lograr un secado rápido es necesario trabajar con temperaturas elevadas, con lo cual se aumenta las pérdidas. Para compensar este inconveniente, muchos secaderos rápidos, como hemos mencionado anteriormente, interrumpen el secado al llegar al punto crítico, acabándolo en un pre horno a elevada temperatura.

El prehorno, permite el calor de recuperación del horno cuando el secadero está parado, pues, de no existir, se tendría que tirar a la calle dicha recuperación.

## **2.5 MARCO LEGAL**

Como una respuesta al problemática ambiental de los sectores productivos colombianos, el gobierno nacional, a través del ministerio del medio ambiente, ha definido dentro de sus políticas ambientales fundamentales incentivar “la prevención de la contaminación” en su origen, en lugar de tratarla una vez generada.

**2.5.1 Resolución 909, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Artículo 155.** Para obtener en los establecimientos de trabajo un medio ambiente que no perjudique la salud de los trabajadores, por los riesgos químicos a que están expuestos, se deberán adoptar todas las medidas necesarias para controlar en forma efectiva los agentes nocivos preferentemente en su origen, pudiéndose aplicar uno o varios de los siguientes métodos: sustitución de sustancias, cambio o modificación del proceso, encerramiento o aislamiento de procesos, ventilación general, ventilación local exhaustiva y mantenimiento. Otros métodos complementarios, tales como limitación del tiempo de exposición y protección personal; solo se aplicarán cuando los anteriormente citados sean insuficientes por sí mismos o en combinación.

**Artículo 157.** Para evitar la contaminación del aire en el área circundante y perjuicios a los vecinos, por el polvo finamente dividido que escapa por las chimeneas en los establecimientos de trabajo, que calcinan minerales en hornos rotatorios, etc., se deberán instalar precipitadores o filtros electroestáticos u otro sistema de eficiencia similar en los ductos de descarga.

**Parágrafo.** Los humos, gases y otros productos nocivos que se escapan por las chimeneas en los establecimientos industriales, se deberán purificar previamente por extracción o neutralización de los compuestos nocivos por métodos de adsorción o Absorción, para evitar los efectos perjudiciales de la contaminación o polución atmosférica.

**Artículo 30. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.** En el Cuadro 3 se establecen los estándares de emisión admisibles para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla a condiciones de referencia y con oxígeno de referencia de 18%. Dichos estándares deben cumplirse en cada uno de los puntos de descarga de las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla a condiciones de referencia (25° c, 760mm Hg) con oxígeno de referencia del 18%.

Cuadro 3. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.

COMBUSTIBLE	ESTANDARES DE EMISION ADMISIBLE ( mg/ m <sup>3</sup> )		
	MP	SO <sub>2</sub>	NOx
Liquido	250	550	550
Solido	250	550	550
Gaseoso	NO APLICA	NO APLICA	550

Fuente: Resolución 909, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

**Artículo 31. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.** En el Cuadro 4 se establecen los estándares de emisión admisibles para las nuevas industrias de productos de cerámicas refractarias, no refractarias y de arcillas a condiciones de referencia y con oxígeno de referencia de 18%. Dichos estándares deben cumplirse en cada uno de los puntos de descarga.

Cuadro 4. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla a condiciones de referencia (25° c, 760mm Hg) con oxígeno de referencia del 18 %.

COMBUSTIBLE	ESTANDARES DE EMISION ADMISIBLE ( mg/ m <sup>3</sup> )		
	MP	SO <sub>2</sub>	NOx
Liquido	50	500	500
Solido	50	500	500
Gaseoso	NO APLICA	NO APLICA	500

Fuente: Resolución 909, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

**Artículo 32. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.** En el Cuadro 5 se establecen los estándares de emisión admisibles para las nuevas industrias de productos de cerámicas refractarias, no refractarias y de arcillas a condiciones de referencia y con oxígeno de referencia de 18%. Dichos estándares deben cumplirse en cada uno de los puntos de descarga.

Cuadro 5. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla a condiciones de referencia (25° c, 760mm Hg) con oxígeno de referencia del 18 %.

COMBUSTIBLE	ESTANDARES DE EMISION ADMISIBLES DE CONTAMINANTES PELIGROSOS (mg/ m <sup>3</sup> )	
	HCl	HF
Todos	40	8

Fuente: Resolución 909, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

**PARÁGRAFO:** la autoridad ambiental competente solicitara el cumplimiento de los contaminantes en el Cuadro 3 a menos que la industria demuestre que el contenido de flúor y cloro de las materias primas utilizadas no genera contaminantes allí señalados.

**Artículo 33. Temperatura de los gases emitidos por las industrias de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.** La temperatura de los gases emitidos por las industrias de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla para hornos continuos no debe exceder 180°c. Para el caso de hornos discontinuos la temperatura no debe exceder 250° durante la etapa de máximo consumo de combustible.

**2.5.2 Acuerdo 065 de 1996.** El cual establece el estatuto estudiantil que es el regente actual en la institución.

**ARTICULO 140.** El estudiante podrá optar por una de las siguientes modalidades del trabajo de grado:

**a. Proyecto de Investigación**

Monografía

Trabajo de Investigación: Generación o aplicación de conocimientos

Sistematización del conocimiento.

**b. Proyecto de Extensión.**

Trabajo social

Labor de consultoría en aquellos proyectos en los cuales participe la Universidad.

Pasantía

Trabajo dirigido

**PARÁGRAFO 1.** El estudiante podrá optar como componente alterna al proyecto de grado, créditos especiales como cursos de profundización académica o exámenes preparatorios.

**PARÁGRAFO 2º.** Para algunos Planes de Estudio y de acuerdo a sus características el Consejo Académico podrá obviar la presentación del trabajo de grado.

**Artículo 141.** El proyecto de grado incluye las siguientes etapas:

**a.** Presentación del anteproyecto o plan de trabajo según corresponda a la modalidad del proyecto seleccionado.

**b.** Desarrollo de la investigación o ejecución física del proyecto.

**c.** Sustentación de la investigación y/o verificación o aval de la realización del proyecto.

**Parágrafo.** Para todas las modalidades de proyecto de grado, el estudiante deberá presentar un informe final avalado por su director.

**Artículo 142.** Las condiciones y procedimientos para la presentación, desarrollo y evaluación de cada una de las modalidades de trabajo de grado, o sus componentes alternas, harán parte de la reglamentación específica de cada facultad, para cada plan de estudios.

**Parágrafo.** La Universidad incorporará los trabajos de grado, como componente básico de su hacer y creará bancos de proyectos en los Departamentos Académicos y en la Vicerrectoría Asistente de Investigación y Extensión.

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para la realización de este proyecto, se efectuara una investigación experimental - descriptiva.

Experimental: se llevó a cabo una serie de ensayos los cuales nos permitieron entender un poco más la situación de la empresa, para lograr las condiciones deseadas y satisfacer las necesidades de la planta buscando el mejoramiento del proceso y aprovechando el calor residual.

Descriptiva: mediante los estudios realizados se trató de plasmar de forma numérica la humedad, temperatura de los gases, contaminación ambiental, porcentaje de los componentes químicos de los gases, presión y entre otros.

#### 3.2 POBLACIÓN

La población en esta investigación corresponde a la línea de producción de bloques de arcilla de la empresa LADRILLERA OCAÑA, ubicada en el municipio de Ocaña.

#### 3.3 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

En esta etapa se hizo un análisis cualitativo y una comparación entre los resultados arrojados de la información entregada por las personas encuestadas en la entrevista con el fin de identificar discrepancia alguna y diferencias en los intereses de estas.

#### 3.4 FASES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**Fases para el desarrollo de la propuesta cumpliendo los objetivos específicos:** Se formulo cada una de las fases y sus respectivas actividades a fin de dar solución al problema de investigación, las cuales son:

**3.4.1 FASE I. Revisión bibliográfica.** En esta primera instancia del proyecto se cumplió con el objetivo específico de conocer el análisis de los gases producidos por el horno y se estudiaran los conceptos y teorías sobre las diferentes formas de secado y como aprovechar el calor residual en las distintas formas.

**3.4.2 FASE II. Moldeamiento de la propuesta.** Esta etapa del proyecto se identificó los factores que rigen u orientan el aprovechamiento de los gases para el proceso de secado, realizando análisis de las condiciones con las que cuentan en la empresa y proceder al diseño de aprovechamientos de los gases para la línea de secado, considerando factores determinantes a la hora de empezar con el proceso como lo es la humedad relativa, temperaturas de los gases a la salida, caudal, velocidades, presiones, recirculación de gases entre otros.

**3.4.3 FASE III. Presentación de la propuesta.** Luego de conocer las variables que intervienen en el proyecto y obtener los datos necesarios procedimos a realizar la

simulación del actual secadero para tener una idea más clara del comportamiento del calor en la parte interior para poder tomar la decisión con que variables se puede jugar para realizar un diseño, y comparar las eficiencia y tomar la más conveniente. Para luego hacer una presentación de la mejor alternativa que cumpla a cabalidad y se ajuste con lo requerido para la empresa.

## 4. ACTIVIDADES DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO

### 4.1 REALIZACION DEL ANALISIS DE LAS PROPIEDADES DEL CARBON USADO EN LA LADRILLERA OCAÑA.

En esta parte se describe el procedimiento de los ensayos pertinentes al carbón utilizados por el horno Hoffman de la empresa ladrillera Ocaña. Este laboratorio se realizó en la planta de aceros perteneciente a la escuela de ingeniería metalúrgica de la universidad industrial de Santander, en la cual se efectuaron las pruebas de humedad, cenizas, materia volátil, poder calorífico, azufre, carbono fijo e índice de hinchamiento.

Para efectuar dichos análisis, fue fundamental que la muestra de carbón se encontrara pulverizada y no húmeda, para esto se procedió a triturarla manualmente en primera instancia como se muestra en la Figura 3.

Figura 3: tritución manual del carbón



Fuente: Autores del proyecto

Después de estar pulverizada la muestra, se pasa por un tamiz 100 (100 hilos por  $\text{cm}^2$ ) y finalmente la muestra está lista para las pruebas como se observa en la Figura 4.

Figura 4: muestra lista para usarse. Izquierda tamiz (malla 100 hilos por  $\text{cm}^2$ )



Fuente: Autores del proyecto.

#### 4.1.1 Determinación del contenido de humedad

La humedad, según la norma D3173 de la ASTM, se determina estableciendo la pérdida de peso de la muestra cuando se calienta bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo y atmósfera.

En esta prueba se realizaron dos muestras y finalmente se promedia el resultado. A continuación se describe el procedimiento:

Calentar los crisoles vacíos, dejarlos enfriar en un desecador de 15 a 30 minutos, como se observa en la Figura 5. y pesarlos. Agregar aproximadamente un gramo de la muestra a los crisoles y pesarlos nuevamente.

Figura 5: Desecador



Fuente: autores del proyecto.

Poner los crisoles en un horno precalentado a 110C, como se observa en la Figura 6. Dejarlos durante una hora. Sacar los crisoles y dejar en el desecador hasta que estos se enfríen a temperatura ambiente, pesarlos.

Figura 6: los crisoles en el horno para el ensayo de humedad.



Fuente: autores del proyecto.



### Cálculos:

Muestra 1.

*Peso del crisol vacío =  $m_1 = 12.83833 \text{ g}$*

*Peso del crisol con la muestra =  $m_2 = 13.83881 \text{ g}$*

*Peso de la muestra después de salir del horno =  $m_3 = 13.81948 \text{ g}$*

Muestra 2.

*Peso del crisol vacío =  $m_1 = 11.22330 \text{ g}$*

*Peso del crisol con la muestra =  $m_2 = 12.22557 \text{ g}$*

*Peso de la muestra después de salir del horno =  $m_3 = 12.20960 \text{ g}$*

### Ecuación para calcular el porcentaje de humedad

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100$$

Muestra 1.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 = \frac{13.83881 - 13.81948}{13.83881 - 12.83833} \cdot 100\% = 1.93\%$$

Muestra 2.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 = \frac{12.22557 - 12.20960}{12.22557 - 11.22330} \cdot 100\% = 1.6\%$$

$$\% \text{ Humedad promedio} = \frac{mtra 1 + mtra 2}{2} = \frac{1.93 + 1.6}{2} = 1.765\%$$

**Promedio= 1.765%**

### 4.1.2 Determinación del contenido de ceniza

El contenido de ceniza, según la norma D3174 de la ASTM, se determina por el peso que queda después de quemar el carbón bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo y atmósfera.

Esta prueba se realizó a dos muestras y finalmente se promedia el resultado. A continuación se describe el procedimiento:

Calentar los crisoles vacíos, dejarlos enfriar en un desecador de 15 a 30 minutos, como se observa en la Figura 5, y pesarlos. Agregar aproximadamente un gramo de la muestra a los crisoles y pesarlos nuevamente.

Poner los crisoles en el horno frío y dejar calentar a una velocidad de calentamiento tal que alcance  $750 \text{ }^\circ\text{C}$  en 1 hora. Dejar las muestras 2 horas más a esta temperatura.

Dejar enfriar en el desecador hasta temperatura ambiente y pesar.

**Cálculos:**

Muestra 1.

*Peso del crisol vacío =  $m_1 = 17.94522 \text{ g}$*

*Peso del crisol con la muestra =  $m_2 = 18.94772 \text{ g}$*

*Peso de la muestra después de salir del horno =  $m_3 = 18.04516 \text{ g}$*

Muestra 2.

*Peso del crisol vacío =  $m_1 = 14.91398 \text{ g}$*

*Peso del crisol con la muestra =  $m_2 = 15.91422 \text{ g}$*

*Peso de la muestra después de salir del horno =  $m_3 = 15.02064 \text{ g}$*

Muestra 3.

*Peso del crisol vacío =  $m_1 = 15.83960 \text{ g}$*

*Peso del crisol con la muestra =  $m_2 = 16.83998 \text{ g}$*

*Peso de la muestra después de salir del horno =  $m_3 = 15.96158 \text{ g}$*

**Ecuación para calcular el porcentaje de ceniza.**

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100$$

Muestra 1.

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100 = \frac{18.04516 - 17.94522}{18.94772 - 17.94522} \cdot 100\% = 9.96\%$$

Muestra 2.

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100 = \frac{15.02064 - 14.91398}{15.91422 - 14.91398} \cdot 100\% = 10.66\%$$

Muestra 3.

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100 = \frac{15.96158 - 15.83960}{16.83998 - 15.83960} \cdot 100\% = 12.19\%$$

$$\% \text{Ceniza promedio} = \frac{mtra. 1 + mtra. 2 + mtra. 3}{3} = \frac{9.96 + 10.66 + 12.19}{3} =$$

**$\% \text{ Ceniza promedio} = 10.9366\%$**

### 4.1.3 Determinación del contenido de materia volátil

La materia volátil, según la norma D3175 de la ASTM, se determina estableciendo la pérdida de peso de la muestra cuando se calienta bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo y atmósfera.

Esta prueba se realizó a dos muestras y finalmente se promedia el resultado. A continuación se describe el procedimiento:

Calentar los crisoles vacíos y sus tapas (Figura 7), dejarlos enfriar en un desecador de 15 a 30 minutos, como se observa en la Figura 12, y pesarlos. Agregar aproximadamente un gramo de la muestra a los crisoles y pesarlos nuevamente.

Poner en un crisol con tapa durante 7 minutos en un horno a 910 °C. El porcentaje de disminución de peso menos el porcentaje de humedad es equivalente a la materia volátil.

Figura 7. Crisol y tapa usados en la prueba de determinación del contenido de Materia volátil.



Fuente: autores del proyecto.

#### Cálculos:

Muestra 1.

$$\text{Peso del crisol vacío} = m_1 = 24.15312 \text{ g}$$

$$\text{Peso del crisol con la muestra} = m_2 = 25.04378 \text{ g}$$

$$\text{Peso de la muestra después de salir del horno} = m_3 = 24.64515 \text{ g}$$

Muestra 2.

$$\text{Peso del crisol vacío} = m_1 = 22.81076 \text{ g}$$

$$\text{Peso del crisol con la muestra} = m_2 = 23.81338 \text{ g}$$

$$\text{Peso de la muestra después de salir del horno} = m_3 = 23.34325 \text{ g}$$

### **Ecuación para calcular el porcentaje de ceniza.**

$$\% \text{ Material volátil} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 - \% \text{ humedad}$$

Muestra 1.

$$\% \text{ Materia volátil} = \frac{25.04378 - 24.64515}{25.04378 - 24.15312} \cdot 100\% - 1.756 = 43.00\%$$

Muestra 2.

$$\% \text{ Materia volátil} = \frac{23.81338 - 23.34325}{23.81338 - 22.81076} \cdot 100\% - 1.756 = 45.134\%$$

$$\% \text{ Materia volátil promedio} = \frac{\text{mtra. 1} + \text{mtra. 2}}{2} = \frac{43 - 45.134}{2} = 44.067\%$$

$$\% \text{ Materia volátil promedio} = \mathbf{44.067\%}$$

Teniendo el contenido de humedad, de ceniza y materia volátil se calcula el contenido de carbono fijo, según la norma D3172 de la ASTM, de la siguiente forma:

$$\% \text{ Carbono Fijo} = 100\% - (\% \text{ Humedad} + \% \text{ Ceniza} + \% \text{ Materia volátil})$$

$$\% \text{ Carbono Fijo} = 100\% - (1.756 + 10.936 + 44.067) = \mathbf{43.24\%}$$

#### **4.1.4 Determinación del poder calorífico**

El poder calorífico de la muestra se determina, según la norma D5865 de la ASTM, multiplicando el aumento de temperatura ajustada por efectos externos por la capacidad calorífica de la bomba calorimétrica (ver Figura 8.) y dividida en la masa de la muestra.

A continuación se describe el procedimiento:

Calentar el crisol vacío, dejarlo enfriar en un desecador de 15 a 30 minutos, como se observa en la Figura 5, y pesarlo. Agregar aproximadamente un gramo de la muestra al crisol y pesarlo nuevamente.

Poner la muestra en la bomba calorimétrica y presurizar de 25 a 30 atmósferas.

Anotar la diferencia de temperatura desde que empieza la prueba hasta que termina.

#### **Cálculos:**

##### **Ecuación para calcular el poder calorífico.**

$$\text{Poder calorífico} = \frac{(t_2 - t_1) \cdot E}{m_2 - m_1}$$

Dónde:

$$E = \text{capacidad calorífica de la bomba} = 5088.366 \frac{\text{Btu} \cdot \text{g}}{\text{Lb} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$t_1 = \text{temperatura inicial (ambiente)} = 25.05^\circ\text{C}$$

$$t_2 = \text{temperatura final} = 28.60^\circ\text{C}$$

$$m_1 = \text{Peso del crisol vacío} = 5.71665 \text{ g}$$

$$m_2 = \text{Peso del crisol con la muestra} = 6.71829 \text{ g}$$

Figura 8. Bomba calorimétrica Izquierda. Cilindro presurizado a 30 atm.



Fuente: autores del proyecto

### Sustituyendo

$$\text{Poder calorífico} = \frac{(28.60 - 25.05) * 5088.366}{(6.71829 - 5.71665)} = 18034.123 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}}$$

$$\text{Poder calorífico} = 18034.123 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} = 10043.42 \frac{\text{Cal}}{\text{g}}$$

### Resultados

En la tabla 1. Se encuentran los resultados del análisis del contenido del carbón y una breve explicación de lo que este contenido representa para el proceso de Combustión del horno Hoffman.

Tabla 1. Resultados de los análisis del carbón usado en el horno Hoffman de la Empresa ladrillera Ocaña.

<p><b>% Humedad = 1.756%.</b></p>	<p>Este porcentaje de humedad es alto, lo cual ocasiona una desventaja en el proceso de la quema. Se debe tener en cuenta que de no cubrir el carbón para que no se moje, seguirá aumentando el porcentaje de humedad y esto llevaría a tener problemas en la etapa de cocción.</p>
<p><b>% Cenizas = 10.9366%.</b></p>	<p>Este porcentaje de cenizas representa el material incombustible del carbón, y se encuentra en el rango normal de los carbones térmicos colombianos.</p>
<p><b>% Materia volátil = 44.067%.</b></p>	<p>Este carbón contiene un gran alto contenido en materia volátil lo cual facilita la ignición del carbón y facilita la quema.</p>
<p><b>% Carbono fijo = 43.24%.</b></p>	<p>Este valor representa la parte que no es volátil y se quema en estado sólido. Este resultado de carbono fijo se encuentra en un valor bueno comparado con otros carbones térmicos colombianos.</p>
<p><b>Poder calorífico = <math>18034.123 \frac{Btu}{lb} = 10043.42 \frac{Cal}{g}</math>.</b></p>	<p>Este porcentaje representa la cantidad de calor que se libera en una combustión completa. Este carbón tiene un buen calor calorífico lo cual ayuda a que la llama sea más completa ayudando a que la quema no dure tanto tiempo. Este valor se encuentra entre el rango promedio de carbones térmicos de Colombia.</p>
<p><b>% Azufre = 0.48</b></p>	<p>Este porcentaje representa impurezas y genera emisiones contaminantes. El valor encontrado es bajo en comparación con otros carbones térmicos colombianos.</p>

Fuente: Autores del proyecto.

Según la Tabla 2. El combustible utilizado por la empresa ladrillera Ocaña es un carbón bituminoso, alto en volátiles A. Este tipo de carbón es un carbón térmico con alto contenido energético y es apto para el proceso de cocción del ladrillo.

Tabla 2: clasificación ASTM D388-92 de los carbones según su rango.

Tabla 3.4 Clasificación ASTM D388-92 de los carbones según su rango <sup>A</sup>										
Clase	Grupo	CF <sup>A</sup> <sub>ASTM</sub>		V <sup>A</sup> <sub>ASTM</sub>		Pcs <sup>A</sup> <sub>ASTM</sub>				Carácter aglomerante
		Límites del carbono fijo (base seca sin cenizas)		Límites de materia volátil (base seca sin cenizas)		Límites del poder calorífico superior (con humedad <sup>B</sup> sin cenizas)				
		Igual o mayor que	Menor que	Igual o mayor que	Menor que	Btu/lb		kJ/kg <sup>C</sup>		
						Igual o mayor que	Menor que	Igual o mayor que	Menor que	
Antracita	Meta-antracita	98	...	...	2					No aglomerante
	Antracita	92	98	2	8					
	Semiantracita <sup>D</sup>	86	92	8	.14					
Bituminosa	Carbón bituminoso, bajo en volátiles	78	86	14	22					Comunmente aglomerante <sup>F</sup>
	Carbón bituminoso, medio en volátiles	69	78	22	31					
	Carbón bituminoso, alto en volátiles A	...	69	31	...	14.000 <sup>E</sup>		32.564		
	Carbón bituminoso, alto en volátiles B	...	...	...	...	13.000 <sup>E</sup>	14.000	30.238	32.564	
	Carbón bituminoso, alto en volátiles C	...	...	...	...	11.500	13.000	26.749	30.238	Comunmente aglomerante <sup>F</sup>
Sub-bituminosa	Subbituminoso A	...	...	...	...	10.500	11.500	24.423	26.749	No aglomerante
	Subbituminoso B	...	...	...	...	9.500	10.500	22.097	24.423	
	Subbituminoso C	...	...	...	...	8.300	9.500	19.306	22.097	
Lignítica	Lignito A	...	...	...	...	6.300	8.300	14.654	19.306	No aglomerante
	Lignito B	...	...	...	...		6.300		14.654	

(A) Esta clasificación no incluye determinados tipos de carbón, como se discute en la misma norma.  
(B) Con humedad<sup>B</sup> se refiere a la humedad natural del carbón, sin humedad libre o agua visible en la superficie del carbón.  
(C) Para convertir BTU/lb a kJ/kg multiplicar por 2,326.  
(D) Si presenta carácter aglomerante se clasificará como bituminoso de bajo contenido en volátiles.  
(E) Los carbones con el 69% o más de carbono fijo en base seca y sin cenizas se clasificarán según su contenido en carbono fijo, independientemente de su poder calorífico.  
(F) Se reconoce que pueden existir variedades no aglomerantes en estos grupos del tipo bituminoso, especialmente entre los bituminosos con alto contenido en volátiles tipo C

Fuente: Tecnología energética

**4.2 DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE CONTAMINACIÓN DE LOS GASES DISTRIBUIDOS EN LOS COMPONENTES QUÍMICOS COMO: MATERIAL PARTICULADO (MP), OXIDO DE AZUFRE (SO), OXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>x</sub>) Y HALOGENOS PRODUCIDOS POR EL HORNO MEDIANTE EL ESTUDIO ISOCINETICO.**

Este estudio hace referencia a la evaluación de Emisiones Atmosféricas de Material particulado (MT), Óxidos de Azufre, Óxidos de Nitrógeno y Halógenos en el horno Hoffman de la **LADRILLERA OCAÑA**, situada en la vía a la Vereda La Rinconada Ocaña – Norte de Santander con Nit 800.209.943 – 1.

La fuente de emisión evaluada corresponde al horno Hoffman utilizando como combustible Carbón Mineral, en la que se midió en condiciones normales de funcionamiento. En las determinaciones por triplicado en la fuente se utilizaron los métodos de muestreo y de cálculo recomendados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América acogidos mediante el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación generada por fuentes fijas (Resolución 2153 de 2010).

La Tabla 3. Presenta las características de la fuente monitoreada en la planta objeto del monitoreo:

<b>Característica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Fuente	x	Horno Hoffman
Proceso evaluado	x	Fabricación de productos de cerámica
Tipo de proceso	x	Físico y continuo
Altura ducto de descarga	m	18.5
Longitud ducto rectangular	m	1.1
Ancho ducto rectangular	m	1.06
Geometría chimenea	x	Rectangular
Horas de trabajo	h/día	24
Días de trabajo	día/semana	7
Semanas de trabajo	Semana/mes	4
Horas de trabajo	h/día	24
Combustible utilizado	x	Carbón mineral
Consumo de combustible	Ton/mes	170

Fuente: información suministrada por el cliente, datos de producción para una quema.

**4.2.1 Descripción de equipos.** Para realizar el estudio se utilizó un equipo marca ENVIROMENTAL SUPPLY tipo Universal, conocido como TREN MUESTREADOR DE DUCTOS O CHIMENEAS, aprobado por la EPA, consta de una sonda con una boquilla en el extremo, la cual va a un ciclón y éste a su vez a un filtro, localizados



dentro de un horno o compartimiento caliente, a una temperatura entre 100 a 124° C, para evitar la condensación del gas que pasa.

El filtro se conecta a 4 impactadores instalados en serie y sumergidos en hielo con el fin de condensar el vapor de agua. Los dos primeros contienen 100 cm<sup>3</sup> de agua destilada cada uno, el tercero permanece vacío y el cuarto contiene aproximadamente 200 gramos de sílica gel.

Después del último impactador, la sonda se conecta a una línea de vacío que a su vez va al tablero de control en el cual se localiza un medidor de gas seco, una válvula de control de flujo y una bomba de vacío conectada a una válvula de paso.

El equipo cuenta además con un tubo pitot modificado, conectado a un manómetro que mide la cabeza de velocidad del flujo a través de la chimenea.

Se utilizó el muestreador Isocinético de chimenea, (Ver Figuras 9 y 10.) El equipo consta de los siguientes aditamentos:

Unidad de control donde se reciben todas las señales procedentes de la chimenea.

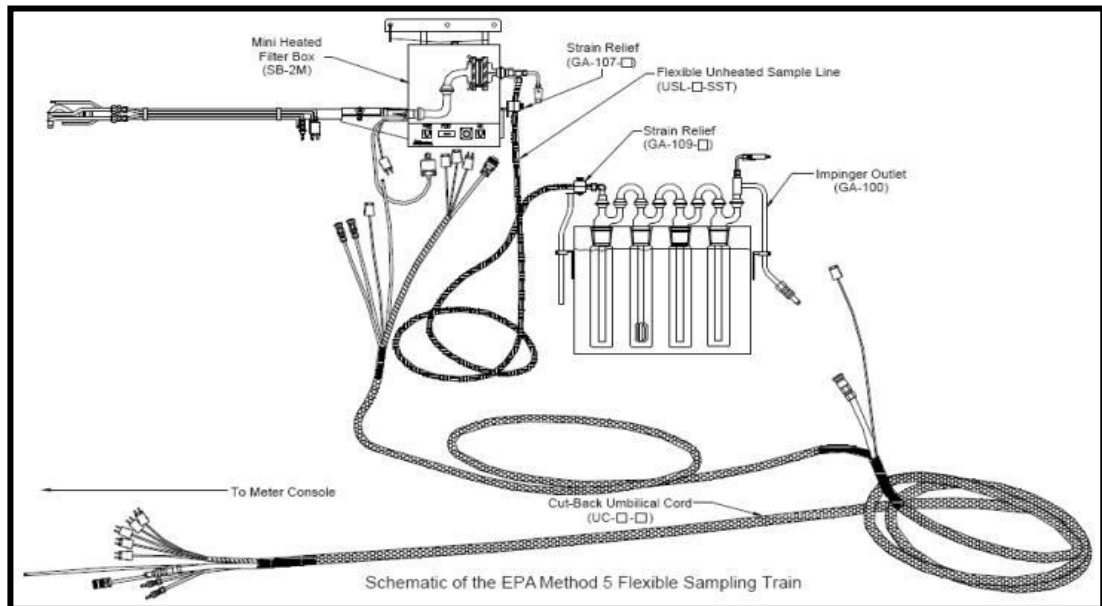
Caja caliente y fría, Termocupla para entrada y salida de impingers, entrada y salida del medidor. Medidor de gas seco. Manómetro de reloj, sistema eléctrico para calentar todo el sistema a las temperaturas de salida de los gases, dos válvulas de control de flujo una fina y otra gruesa. Sonda, la cual es la que hace el recorrido interno en la chimenea. Cordón umbilical el cual transmite todas las señales a la unidad de control. Unidad de muestreo que contiene un sistema portafiltros y de impactadores para retener los contaminantes a medir.

Figura 9: Muestreador Isocinético Environmental Supply



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 10: Partes del Equipo Isocinético



Fuente: Autores del proyecto.

**4.2.1.1 Procedimientos utilizados.** El trabajo de campo, fue realizado de acuerdo a los criterios de las normas vigentes para emisiones a la atmósfera, las cuales básicamente corresponden a la metodología y procedimientos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América, EPA, en su manual “Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volume III, Stationary Source - Specific Methods”. En la fase operativa se desarrollaron los siguientes métodos:

Tabla 4. Resumen de Métodos Empleados en el Estudio

Métodos EPA	Descripción
1	Medidas de la sección y determinación de puntos
2	Calculo de la velocidad y tasa de flujo volumétrico
3	Análisis de gases de combustión - Orsat
4	Determinación del contenido de Humedad
5	Determinación de las Emisiones de Material Particulado
6	Determinación de las Emisiones de Dióxido de Azufre
7	Determinación de las Emisiones de Óxidos de Nitrógeno
8	Determinación de las Emisiones de Haluros

Fuente: Autores del proyecto.

A continuación se presenta en la tabla 5 los parámetros que se midieron en el horno Hoffman por la firma consultora P&T ECONTROL LTDA. Todos los datos y resultados se presentan en unidades del sistema inglés.

Tabla 5. Parámetros de Medición

Fuente	Parámetro	Tiempo	Corrida
Horno Hoffman	MP	60 min.	3
	Nox	60 min.	4
	SO <sub>2</sub>	60 min.	3
	Haluros	60 min.	3

Fuente: Autores del proyecto.

#### 4.2.2 Métodos de toma de muestra y análisis

**4.2.2.1 Método US EPA 1. Determinación del sitio de muestreo.** Para obtener una medición representativa el sitio de muestreo debe estar localizado al menos a ocho diámetros después de la última perturbación en contracorriente o dos diámetros antes de cualquier perturbación en el mismo sentido del flujo. Dichas perturbaciones pueden ser un codo, una expansión o una contracción en la chimenea. Si es necesario, una localización alternativa puede ser seleccionada en un sitio cuando menos, mayor o igual a dos diámetros equivalentes después o mayor o igual a medio diámetros equivalentes antes de cualquier perturbación del flujo.

**4.2.2.2 Determinación del número de puntos transversales.** Se verifico los criterios de toma muestra de nueve diámetros, el número de puntos transversales para el caso de la chimenea evaluada en la **LADRILLERA OCAÑA** fue de cinco (5) puntos.

Tabla 6: Puntos transversales.

Variable	Unidad	Horno
Puntos transversales	No	5

Fuente: Autores del proyecto.

**4.2.2.3 Método US EPA 5. Determinación de la emisión de partículas.** Este método es aplicable para la determinación de las emisiones de material particulado. Durante el muestreo se debe mantener una tasa de muestreo isocinética (dentro del 10% del isocinetismo real, y una temperatura alrededor del filtro de  $120 \pm 14$  °C ( $248 \pm 25$  °F), o cualquier otra temperatura especificada por una sección de los estándares aprobados por la autoridad ambiental de orden nacional. Para cada corrida se debe diligenciar la información solicitado en una hoja de campo y en el programa isocal. Se debe asegurar registrar la lectura inicial del medidor de gas seco. Se deben registrar las lecturas del medidor de gas seco al inicio y finalización de cada incremento en el tiempo de muestreo, cuando se hagan cambios en el flujo de muestreo, antes y después de cada prueba de fugas y cuando el muestreo esté detenido. Se deben tomar las otras lecturas indicadas en la hoja de campo al menos una vez por cada punto de muestreo durante cada incremento de tiempo y lecturas adicionales cuando se presenten cambios significativos (20% de variación en las lecturas de cabeza de velocidad) requieran ajustes adicionales en la tasa de flujo. Se debe nivelar y poner en cero el manómetro. Debido a que el nivel y el cero del manómetro pueden cambiar debido a las vibraciones y los cambios de temperatura, se deben realizar revisiones periódicas durante la

medición en los puntos transversales. Se deben limpiar los puertos de muestreo, antes de realizar el muestreo para minimizar la posibilidad de recolectar material depositado. Para iniciar el muestreo, se debe verificar que los sistemas de calentamiento del filtro y de la sonda se encuentren a la temperatura indicada, se debe remover el tapón puesto en la boquilla, verificar que el tubo pitot y la sonda se encuentren adecuadamente posicionados. Se debe posicionar la boquilla en el primer punto transversal con la punta apuntando directamente en la corriente de gas. Inmediatamente, se debe encender la bomba y ajustar el flujo a las condiciones de isocinetismo. En la tabla 7 se presentan los siguientes resultados:

Tabla 7: Emisión de material particulado.

Variable	Unidad	Horno
Caudal subsionado por la sonda.	m <sup>3</sup> /min	289.5
Emisión de MP	kg/hr	2.65
	mg/m <sup>3</sup>	139.9

Fuente: Autores del proyecto.

**4.2.2.4 Método US EPA 6. Determinación de la concentración de Dióxido de Azufre.** Se extrae una muestra de gas isocinéticamente de la chimenea. La niebla de ácido sulfúrico (que incluye trióxido de sulfuro) y el dióxido de sulfuro se separan, y ambas fracciones se miden por separado usando el método de titulación con bario-torina. Este método se aplica para la determinación de niebla de emisiones de dióxido de sulfuro de fuentes fijas. Con base en cálculos teóricos para 200 milímetros de solución de peróxido de hidrógeno al 3 por ciento, el límite superior de concentración para el dióxido de sulfuro en una muestra de gas de 1,0 m<sup>3</sup> (35,3 pies<sup>3</sup>) es de aproximadamente 12.500 mg/m<sup>3</sup> (7,7x10<sup>-4</sup> lb/pie<sup>3</sup>). El límite superior se puede extender aumentando la cantidad de solución de peróxido en los compresores. Como posibles agentes de interferencia en este método encontramos a fluoruros, amoniaco libre y anilina dimetilo. Si hay cualquiera de estos agentes de interferencia (esto se puede determinar por conocimiento del proceso), son necesarios métodos alternativos. La tabla 8 presenta los resultados:

Tabla 8: Emisión de dióxido de azufre

Variable	Unidad	Horno
Emisión SO <sub>2</sub>	kg/hr	5.30
	mg/m <sup>3</sup>	305.0

Fuente: Autores del proyecto.

- **Método US EPA 7. Determinación de la concentración de Óxidos de Nitrógeno.** Se recolecta una muestra en un frasco al vacío que contiene una solución absorbente de sulfuric acid-hidrogen diluido, y los óxidos de nitrógeno, excepto óxido nitroso son medidos colorimétricamente. Este método es aplicable para la medición de óxidos de nitrógeno emitido por fuentes estacionarias. El rango del método se ha -determinado en

2 a 400 miligramos de NO<sub>x</sub> (como NO<sub>2</sub>) por metro cúbico estándar seco, sin tener dilución de la muestra. La tabla 9 muestra los resultados arrojados.

Tabla 9: emisión de óxido de nitrógeno.

Variable	Unidad	Horno
Emisión No <sub>x</sub>	kg/hr	1.04
	mg/m <sup>3</sup>	59.6

Fuente: Autores del proyecto.

• **Método US EPA 26A: Determinación de la concentración de Halógenos HCl y HF.** Los contaminantes gaseosos y particulados son arrastrados isocinéticamente desde la fuente y recogidos en un ciclón opcional, en un filtro, y en soluciones absorbentes. Las soluciones absorbentes ácidas y alcalinas recogen los haluros de hidrógeno gaseoso y halógenos, respectivamente. Después del muestreo de emisiones que contengan gotas de líquido, cualquier haluros/halógenos disueltos en el líquido, en el ciclón o en el filtro, son evaporizados a gas y recogidos en los impingers arrastrando aire ambiente acondicionado por medio del tren de muestreo. Los resultados son mostrados en la Tabla 10:

Tabla 10. Emisión de HCl (ácido clorhídrico)

Variable	Unidad	Horno
Emisión HCl	kg/hr	0.270
	mg/m <sup>3</sup>	10.5

Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 11: Emisión de HF (Ácido fluorhídrico)

Variable	Unidad	Horno
Emisión HF	kg/hr	0.066
	mg/m <sup>3</sup>	2.6

Fuente: Autores del proyecto.

#### 4.2.3 Determinación de la altura de descarga.

Aplicando el artículo 70 de la resolución 909 de 2008, con respecto al cumplimiento normativo de la altura del punto de descarga de la fuente fija instalada en la empresa LADRILLERA OCAÑA siguiendo los lineamientos de buenas prácticas de Ingeniería para aquellas fuentes fijas existentes, establecidas en la resolución 2153 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas.

Para el caso de LADRILLERA OCAÑA MATERIALES DE COLOMBIA S.A. se considera proceso o instalación existente, la altura resultante parte de la aplicación de la siguiente ecuación:

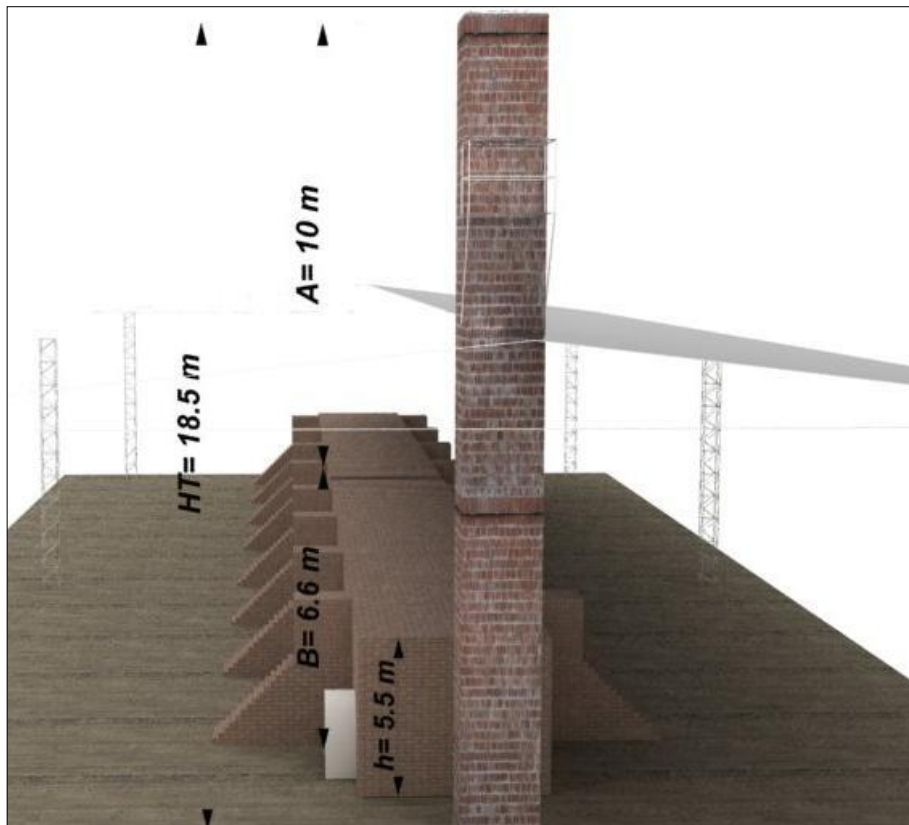
$$H_T = 2.5H_e$$

**Dónde:**

$H_T$ : Altura de la chimenea medida desde el nivel del terreno en la base de la chimenea hasta el borde superior de la misma.

$H_e$ : Altura de la estructura en el punto en el cual se encuentra ubicado el ducto o chimenea.

Figura 11: Altura de la estructura donde se instala la chimenea



**Fuente:** suministrada por PYT ECONTROL LTDA.

Dimensiones:

Altura actual chimenea: 18,5 m

Niples: SI (X) NO ( )

Altura en A: 10,0 m

Altura en B: 6,6 m

Altura requerida según norma:  $HT = 2.5 * He: 5,5m$

HT: Altura mínima de la chimenea

He: Altura de la estructura en el punto en el cual se encuentra ubicado el ducto 5,50m

$HT = 2,5 * 5,50 m$

HT = 13.75m

Cumple SI (X) NO ( )

**4.2.4 NORMAS DE EMISION.** Los resultados del muestreo son comparados con los valores de referencia tomados de la Resolución 909 de 2008 del MVADT, Capítulo X (Estándares de Emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla a condiciones de referencia 25°C y 760 mm de Hg con oxígeno de referencia del 18%) Artículo 30 que hace referencia al cuadro 3.

**Cuadro 3:** Normas de emisión

COMBUSTIBLE	ESTANDARES DE EMISION ADMISIBLE ( mg/ m <sup>3</sup> )		
	MP	SO <sub>2</sub>	NOx
Líquido	250	550	550
Sólido	250	550	550
Gaseoso	NO APLICA	NO APLICA	550

**Fuente:** Autores del proyecto.

Igualmente se requiere el cumplimiento de contaminantes peligrosos al aire según el artículo 32 del cuadro 5.

**Cuadro 5:** Normas de Emisión residuos Peligrosos

COMBUSTIBLE	ESTANDARES DE EMISION ADMISIBLES DE CONTAMINANTES PELIGROSOS (mg/ m <sup>3</sup> )	
	HCl	HF
Todos	40	8

**Fuente:** Autores del proyecto.

En el artículo 33 se menciona el cumplimiento de la temperatura de los gases de salida los cuales no deben exceder los 180°C en hornos continuos.

**4.2.4.1 Resultados.** Son presentados los resultados del monitoreo en las siguientes condiciones:

- $C_{CL}$ : Concentración a condiciones locales.  
 $C_{CR}$ : Concentración a condiciones de referencia.  
 $C_{CR O2REF}$ : Concentración de condiciones y oxígeno de referencia.

Tabla 12. Resumen de resultados del Monitoreo

Contaminante	Kg/h	Concentración mg/m <sup>3</sup>			Norma mg/m <sup>3</sup>
		Ccl	Ccr	Ccr O <sub>2</sub> Ref	
Partículas	2.65	150.6	153.2	139.9	250
SO	5,30	333.2	338.9	305.0	550
NOx	1,04	67.1	68.2	59,6	550
HCl	0,27	12.3	12.05	10,5	40
HF	0,07	2.99	2.87	2,6	8

**Fuente:** Autores del proyecto.

La tabla 13 muestra el resumen de los resultados y su evaluación frente a la norma con el debido concepto de aprobación y porcentaje frente a ella.

Tabla 13: Resumen de concentraciones en la chimenea comparado con la norma.

Parámetro	Unidades	Norma	Valor medido	% de la Norma	Cumple
Material particulado	mg/m <sup>3</sup>	250	139.9	51	SI
Dióxido de azufre	mg/m <sup>3</sup>	550	305.0	11.9	SI
Óxido de nitrógeno	mg/m <sup>3</sup>	550	59.6	9.7	SI
Ácido clorhídrico	mg/m <sup>3</sup>	40	10.5	31.5	SI
Ácido fluorhídrico	mg/m <sup>3</sup>	8	2.6	40	SI
Temperatura	°C	180	90.8	62.1	SI
Flujo volumétrico gases salida	m <sup>3</sup> /min	x	289.5		
Velocidad de los gases salida	m/s	x	6.5		
Presión de los gases de salida	Atmosferas	x	0.88		
Altura de la chimenea	m	13.8	18.5		SI

**Fuente:** Autores del proyecto.



#### 4.2.4.2 Evidencias fotográficas

Figura 12. Sílica gel para evitar la humedad.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 13. Filtros limpios para toma de muestras.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 14. Tubos impiyect en la caja fría unida al porta filtro de la caja caliente.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 15. Montaje del equipo tomando medición.



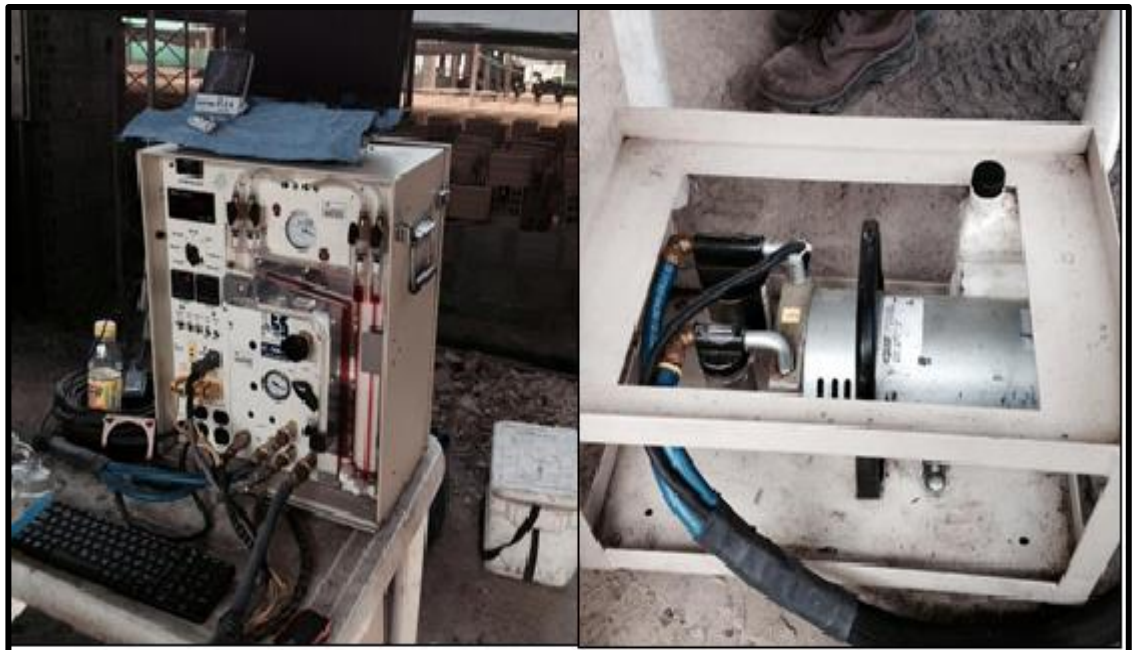
Fuente: Autores del proyecto.

Figura 16. Filtros usados para la toma de muestra.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 17. Equipo Isocinetico.



Fuente: Autores del proyecto.

### 4.3 DETERMINACION DE LOS PARÁMETROS QUE RIGEN LOS GASES GENERADOS EN EL PROCESO DE COCCIÓN PARA SER TRANSPORTADOS Y APROVECHADOS EN EL PROCESO DE SECADO DE LOS BLOQUES CERÁMICOS.

Teniendo en cuenta el proceso productivo de los bloques, la investigación se enfocó en cómo aprovechar los gases producidos por el horno Hoffman para la etapa de secado artificial del bloque cerámico y los parámetros que rigen este proceso como lo son la temperatura, humedad, presión velocidad, caudal. Para esto fue necesario tomar como referencia del trabajo de grado titulado ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL DE SECADO DE BLOQUES EN LA EMPRESA LADRILLERA OCAÑA Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO con la cual empezamos a analizar cómo era el comportamiento de los cuartos de secado, para esto fue necesario analizar y rectificar el balance térmico y sus respectivas graficas con el fin de tener una idea más clara y concisa; de ahí en adelante fue necesario diseñar un sistema de extracción de humedad como también el sistema de renovación de aire y el diseño de la ducteria que recupera los gases generados por el horno Hoffman para la etapa de secado. Ver anexo A.

**4.3.1 Condiciones de producción para los bloques.** En las siguientes tablas se detallan las propiedades y las condiciones de los bloques de la ladrillera Ocaña.

Tabla 14: propiedades de los bloques.

<b>Propiedades</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
PRODUCCION REQUERIDA	21000 BLOQUES/DIA	21000 BLOQUES/DIA
HUMEDAD	18%	5%

Fuente: Autores del proyecto.

La velocidad recomendada en ductos principales es de 12 m/s.

La velocidad recomendada en ductos secundarios es de 9 m/s.

Tabla 15: propiedades de los gases del horno Hoffman.

<b>Características de los gases del horno Hoffman</b>			
<b>PRESION</b>	<b>VELOCIDAD</b>	<b>CAUDAL</b>	<b>TEMPERATURA</b>
0.88 ATM	6.5M/S	289.5M3/MIN	90°C

Fuente: Autores del proyecto.

#### 4.3.1.1 Condiciones para el secadero.

Secadero para 8400 bloques/día.

Bloque en formato 20X9.5X30 cm.

El bloque se embarca en estantes.

Número de bloques por estante = 140

Número total de estantes por secadero = 60

Longitud total del secadero 38.8m

Velocidad máxima recomendada en ductos principales.

Determinación del número de bloques:

Nº Bloques= # estantes X # bloques por estante

Nº Bloques= 60 estantes X 140 bloques/ estantes

Nº Bloques= 8400 bloques.

- **Descripción de ductos.** El ducto principal lleva el aire caliente proveniente de los gases de la hornilla al secadero y cuenta con rejillas que permiten la salida del aire para poder ser distribuido en todo el cuarto por unos ventiladores axiales que se mueven en un carro, también cuenta con dos ductos subterráneos utilizados para la extracción de la humedad existente en el cuarto de secado para evitar la rehidratación de los bloques.
- **Ventilador centrífugo.** Se utilizara un ventilador centrífugo en el sistema de secado para la extracción de humedad en el interior durante el proceso y poder disminuirla a la recomendada. Ver anexo B.
- **Cálculo térmico.** A continuación se detalla el cálculo térmico para el sistema de secado de bloques de arcilla en la empresa Ladrillera Ocaña.

Balance de materia

$$m_t(u_2 - u_1) = m_{aire}(h_2 - h_1) + m_{H_2O}(h_2 - u_1) \quad (4.3) \text{ ecuación.}$$

Dónde:

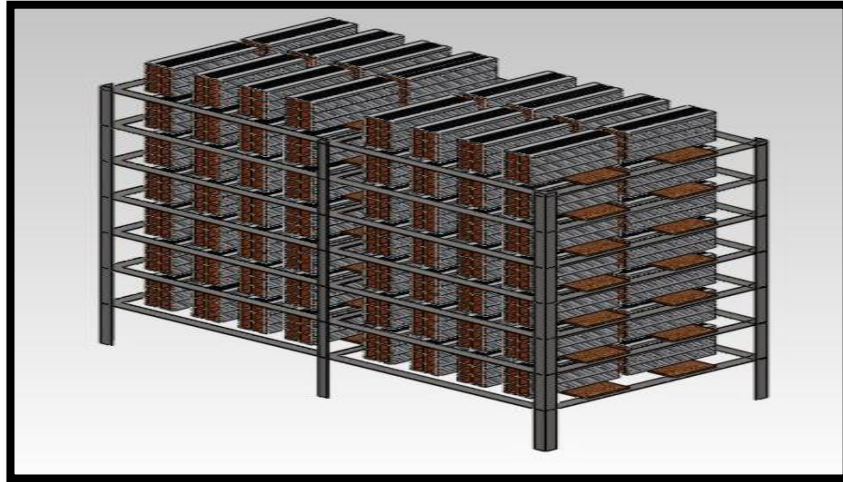
$m_t$  = Masa total de bloques en el secadero.

$m_{aire}$  = Masa total de aire en el secadero.

$m_{H_2O}$  = Masa de agua en el secadero.

- **Estantes.** Ubicación de los bloques en los estantes que se utilizan en el proceso.

Figura 18: estantes.



Fuente: autores del proyecto.

Nº Bloques/ secadero = 140 bloques X 60 estantes

Nº Bloques/ secadero = 8400 bloques.

$m_{\text{estantes}} = 60 \text{ Kg} \times 60 \text{ estantes}$ .

$m_{\text{estantes}} = 3600 \text{ Kg}$ .

• **Cuarto de secado.** Cuarto de secado con respectiva disposición de estantes y bloques.

Figura 19: cuarto de secado.



Fuente: autores del proyecto.

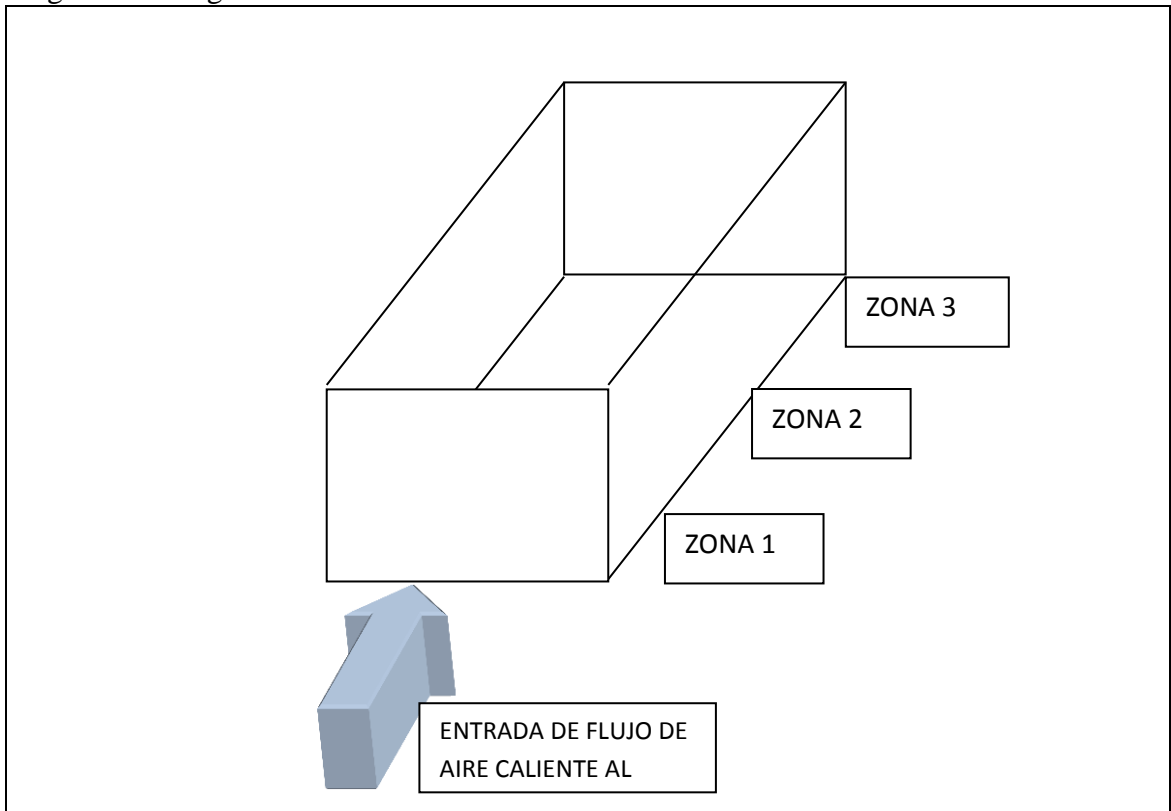
Nº de bloques= 8400 bloques.

$m_{\text{cuarto secado}} = 8400 \text{ bloques} * 5737.65 \text{ gr/ bloque}$

$m_{\text{cuarto secado}} = 48196.3 \text{ kg}$

Las tres zonas son: zona de entrada (zona 1), zona de la mitad (zona 2), zona de la salida (zona 3).

Figura 20: Diagrama del secadero artificial



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 21: Panorámicas de los secaderos artificiales.



Fuente: Autores del proyecto.

El valor de la masa del bloque al inicio se determinó sacando el promedio de los bloques a la entrada del secadero en las tres zonas establecidas.

$$m_{\text{total}} = (m_{\text{estantes}} + m_{\text{cuarto secado}})$$

$$m_{\text{total}} = 3600 \text{ kg} + 48196.3 \text{ kg}$$

$$m_{\text{total}} = 51796.3 \text{ kg.}$$

### • Masa de agua

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \text{Masa de agua a extraer del secadero.}$$

$$m_{\text{bloque entrada}} = 5737.65 \text{ gr}$$

$$m_{\text{bloque salida}} = 5096.39 \text{ gr}$$

El valor de la masa de salida se determinó sacando el promedio de los bloques al final del proceso en las tres zonas establecidas.

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = (m_{\text{bloque entrada}} - m_{\text{bloque salida}}) \text{ N}^\circ \text{ de bloques.}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = (5737.65 \text{ gr} - 5096.39 \text{ gr}) 8400 \text{ bloques.}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 5386.58 \text{ kg.}$$

El volumen se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v} \text{ donde: (4.3.1) ecuación.}$$

$$\rho = \text{densidad del agua (1000 Kg/ m}^3\text{)}$$

$$m = \text{masa del agua (extraída)}$$

$$v = \text{volumen de agua.}$$

Entonces:

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{5386.58 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg/m}^3} = 5.39 \text{ m}^3$$

### • Cálculo térmico.

$$m_{\text{total}} C_p \text{ arcilla } (T_2 - T_1) = m_{\text{aire}} C_p \text{ aire } (T_2 - T_1) + m_{\text{H}_2\text{O}} (h_2 - u_1) \quad (4.3) \text{ ecuación}$$

Dónde:

$$m_{\text{total}} = \text{Masa total (51796.3 kg)}$$

$$C_p \text{ arcilla} = \text{Calor específico de la arcilla}$$

$$C_p = 0.920 \text{ kJ/ kg}^\circ \text{K}$$

$$T_{1\text{arcilla}} = 27.6666 \text{ }^\circ\text{C} \approx 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

La temperatura inicial de la arcilla se obtuvo de la suma de todas las temperaturas en cada una de las zonas establecidas al comienzo del proceso y divididas entre la cantidad de temperaturas.

$$T_{2\text{arcilla}} = 71.6785 \text{ }^\circ\text{C} \approx 72 \text{ }^\circ\text{C}$$

La temperatura final se obtuvo de la suma de todas las temperaturas en cada una de las zonas establecidas en la última hora del proceso y dividida entre igual cantidad.

$$C_p \text{ aire} = \text{Calor específico del aire.}$$

$$C_{p\text{aire}} = 1.005 \text{ kJ/ kg}^\circ \text{K}$$



$$T_{1\text{aire}} = 72 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{2\text{aire}} = 34 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Para la determinación de la entalpia y energía interna del agua, se toman las temperaturas de la arcilla.

Se toman las tablas de temperatura de agua saturada, debido a que el agua empieza a ebulir a los 100 °C, y las temperaturas obtenidas están por debajo de esta temperatura por lo que hay una mezcla de agua – vapor. Ver anexo C.

Entalpia de salida ( $h_2$ ):

$T_2 = 72 \text{ }^\circ\text{C}$ , realizando la interpolación se tiene. Ver (Anexo D)

<b>T (°C)</b>	<b><math>h_{fg}</math>(kJ/ kg)</b>
70	2333
72	$h_2$
75	2320.6

$$h_2 = 2328.04 \text{ kJ/ kg}$$

Energía interna en la entrada ( $u_1$ ):

$T_1 = 28 \text{ }^\circ\text{C}$ , realizando la interpolación se tiene. Ver (Anexo E)

<b>T (°C)</b>	<b><math>u_f</math> (kJ/ kg)</b>
25	104.83
28	$u_1$
30	125.73

$$u_1 = 117.37 \text{ kJ/ kg}$$

Remplazando en la ecuación se tiene.

$$51796.3 \text{ kg} * 0.920 \text{ kJ/ kg} * ^\circ\text{K} (345-301) \text{ }^\circ\text{K} = m_{\text{aire}} * 1.005 \text{ kJ/ kg} * ^\circ\text{K} (307-345) \text{ }^\circ\text{K} + 5386.58 \text{ kg} (2328.04-117.37) \text{ kJ/ kg}.$$

$$2056232 \text{ kJ} = m_{\text{aire}} (-38.69 \text{ kJ/kg}) + 11907950.81 \text{ kJ}.$$

$$m_{\text{aire}} = \frac{(2056232 - 11907950.81) \text{ kJ}}{-38.69 \text{ kJ/kg}} = \frac{-9851718.81 \text{ kJ}}{-38.69 \text{ kJ/kg}} = 254632.173 \text{ kg}$$

El volumen se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v} \text{ donde:}$$

$\rho$  = densidad del aire (1.0223 kg/ m<sup>3</sup>)

$m$  = masa del aire.

$v$  = volumen de aire.

Entonces:

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{254632.173 \text{ Kg}}{1.0223 \text{ Kg/m}^3} = 249077.74 \text{ m}^3$$

### **Flujo másico suministrado por la hornilla.**

Área del ducto de la hornilla.

$$A = (0.8\text{m}) (0.6\text{m})$$

$$A = 0.48\text{m}^2$$

La velocidad del aire en la entrada es de 9.7m/s.

El caudal suministrado.

$$\dot{V} = Q = A * V$$

$$Q = (0.48\text{m}^2) (9.7\text{m/s})$$

$$Q = 4.656\text{m}^3/\text{s}$$

$$\rho = \frac{\dot{m}}{\dot{V}} \quad (4.3.1) \text{ ecuación.}$$

Despejando el flujo másico de la ecuación (4.3.1)

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \rho * \dot{V}$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = (1.0223\text{kg/m}^3) (4.656\text{m}^3/\text{s})$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 4.7598\text{kg/s}$$

### **• HORNILLA SECADERO 1 y 2**



Fuente: Autores del proyecto.

### **• Masa de aire suministrada por secadero.**

$$m_{\text{aire}} = (254632.173 \text{ kg}) * 2 \text{ cuartos de secado}$$

$$m_{\text{aire}} = 509264.346 \text{ kg.}$$

### **• Flujo másico suministrado por los gases del horno Hoffman se describen a continuación**

La presión de los gases del horno es de 0.88 atm lo que corresponde a 89.166 kpa. La temperatura de los gases es de 90°C lo que corresponde a 364°K y el caudal de los es de 4.83m<sup>3</sup>/s.

$$\dot{m}_{aire} = \frac{P \dot{V}}{RT} = \frac{(89.166kpa) \left( \frac{4.83m^3}{s} \right)}{\left( 0.287 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K} \right) (364^{\circ}K)} = \frac{4.13kg}{s}$$

$$\dot{m}_{aire} = \frac{4.13kg}{s} * \frac{3600s}{1h} * 12horas = 178092.27kg$$

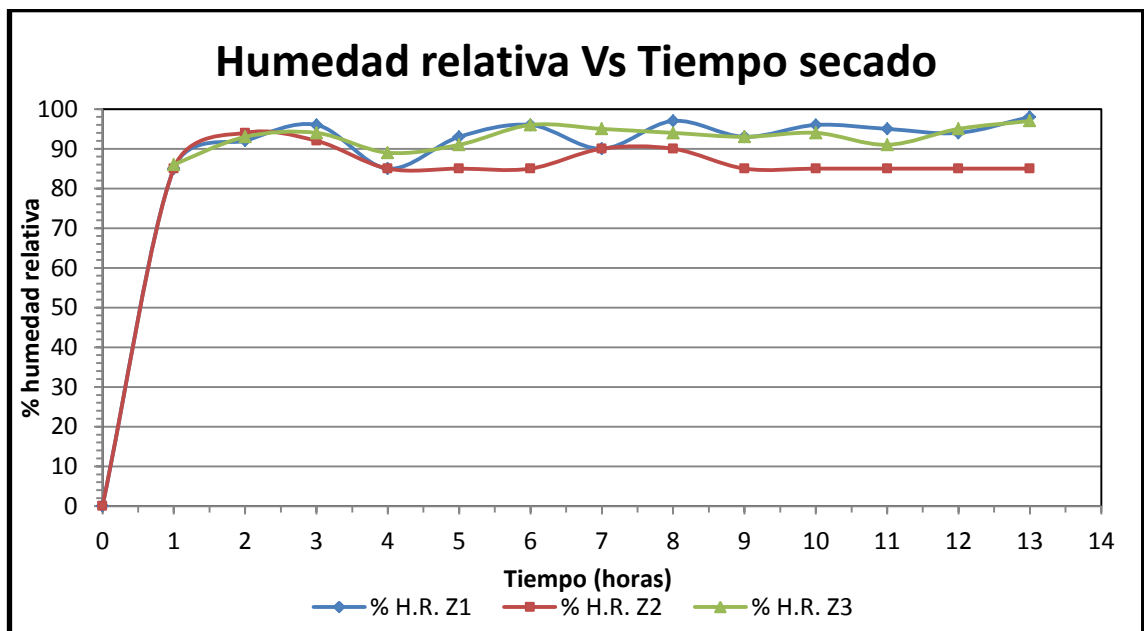
El proceso de secado del bloque de arcilla dura 12 horas.

$$\dot{V}_{HORNO} = \left( \frac{4.83m^3}{s} \right) \left( \frac{3600seg}{1h} \right) = 17388 \frac{m^3}{h} \left( \frac{un\ pie\ cubico}{1.6990} \right) \left( \frac{1h}{60min} \right) = 170.57CFM$$

A continuación se detallan las gráficas de humedad, temperatura y contracción en la cual se observa cómo se comporta tanto el cuarto de secado como el material.

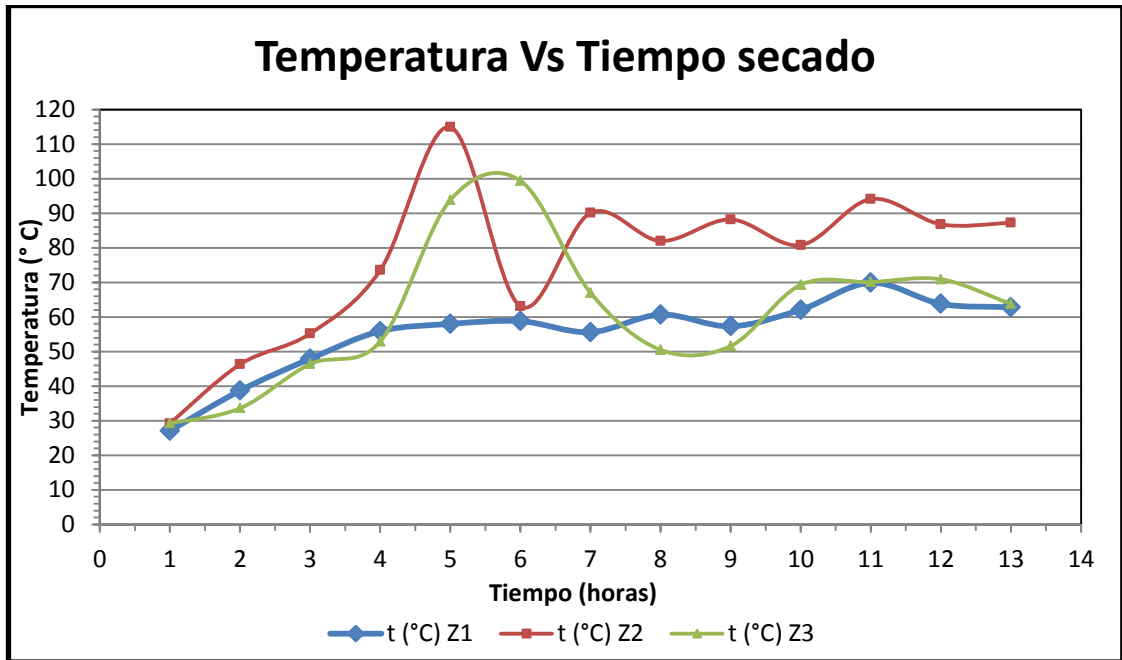
• **Ensayo 1 de secado realizado en la planta física de la empresa.**

Grafica 1. Humedad relativa en función del tiempo de secado.



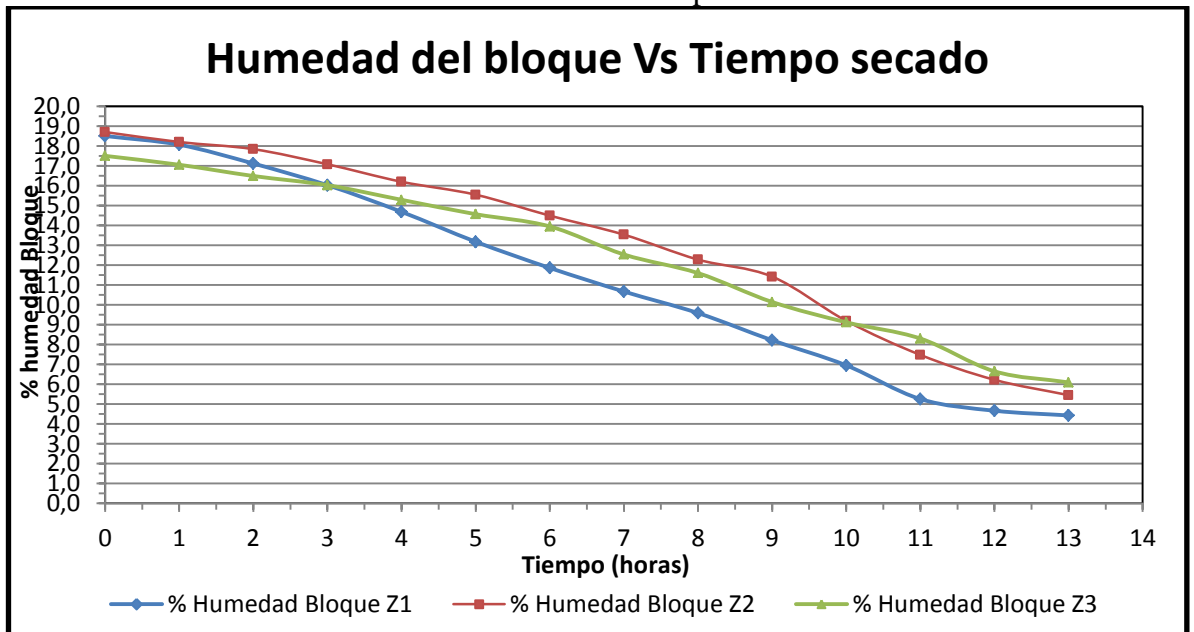
Fuente: Análisis del sistema actual de secado de bloques en la empresa ladrillera Ocaña y propuesta de mejoramiento.

Grafica 2. Temperatura en función del tiempo de secado.



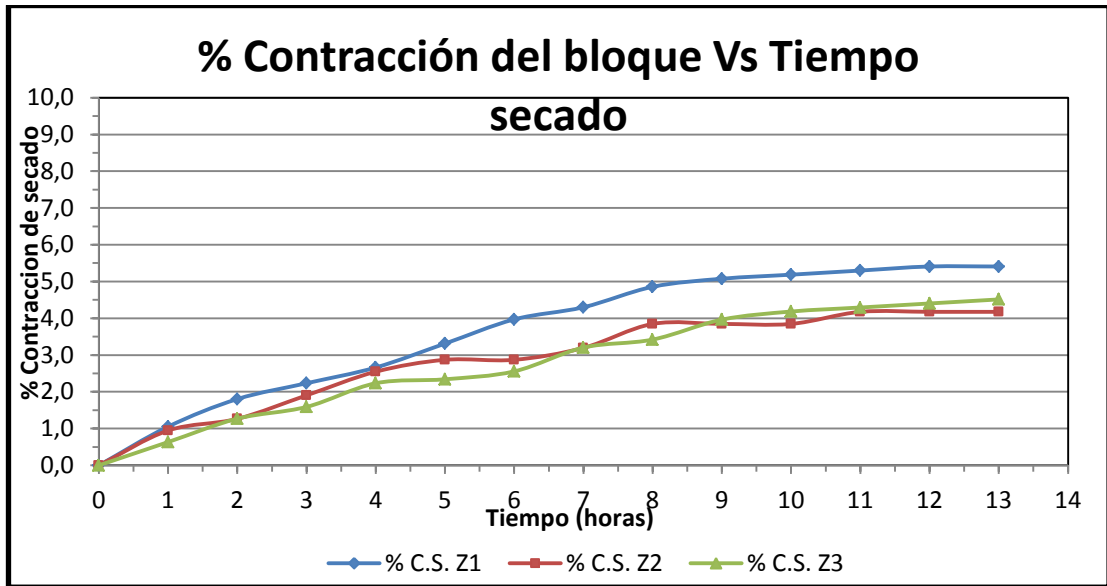
Fuente: Análisis del sistema actual de secado de bloques en la empresa ladrillera Ocaña y propuesta de mejoramiento.

Grafica 3. Humedad del material en función del tiempo de secado.



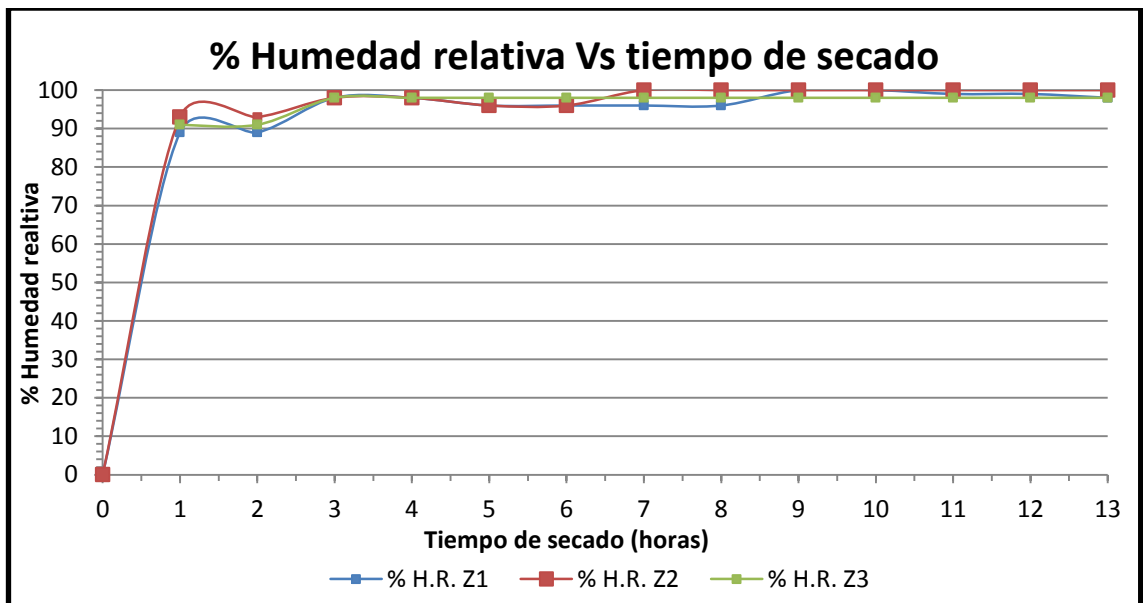
Fuente: Análisis del sistema actual de secado de bloques en la empresa ladrillera Ocaña y propuesta de mejoramiento.

Grafica 4. Contracción de secado del material en función del tiempo de secado.



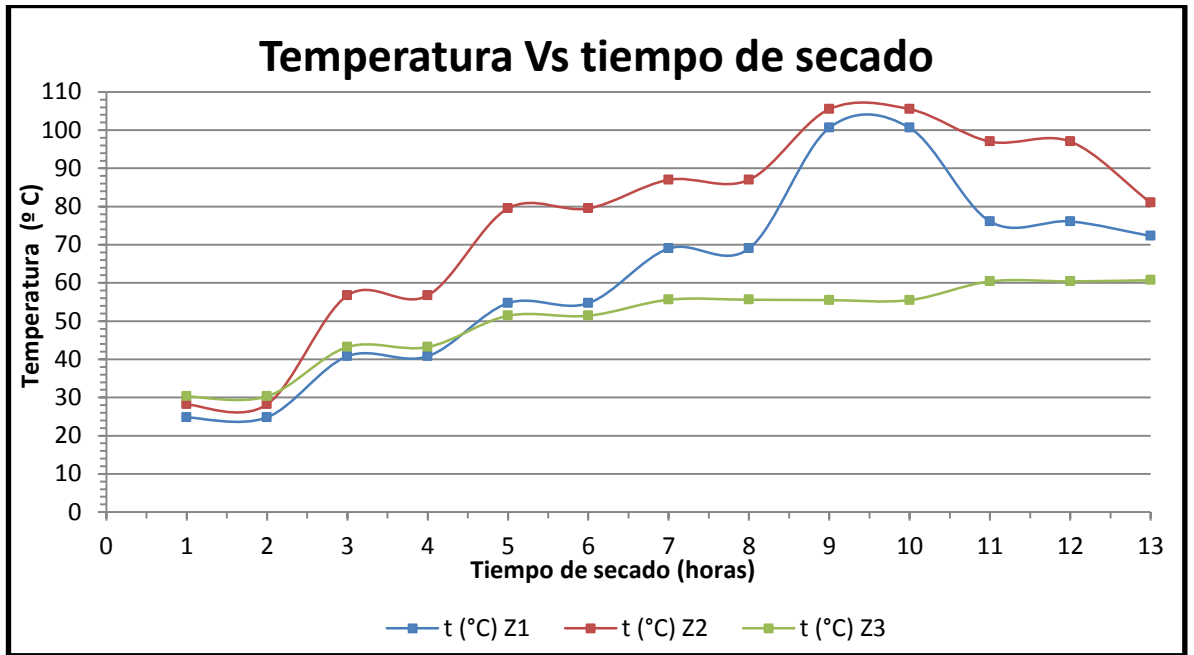
Fuente: Análisis del sistema actual de secado de bloques en la empresa ladrillera Ocaña y propuesta de mejoramiento.

Grafica 5. Humedad relativa en función del tiempo de secado.



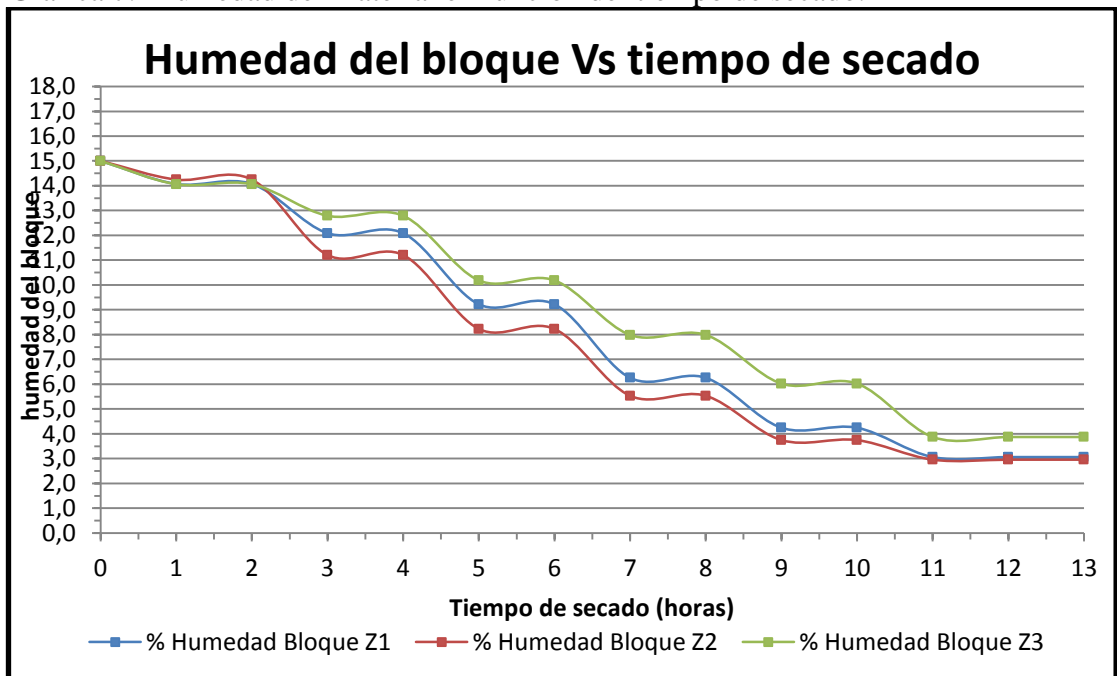
Fuente: Análisis del sistema actual de secado de bloques en la empresa ladrillera Ocaña y propuesta de mejoramiento.

Grafica 6. Temperatura en función del tiempo de secado.



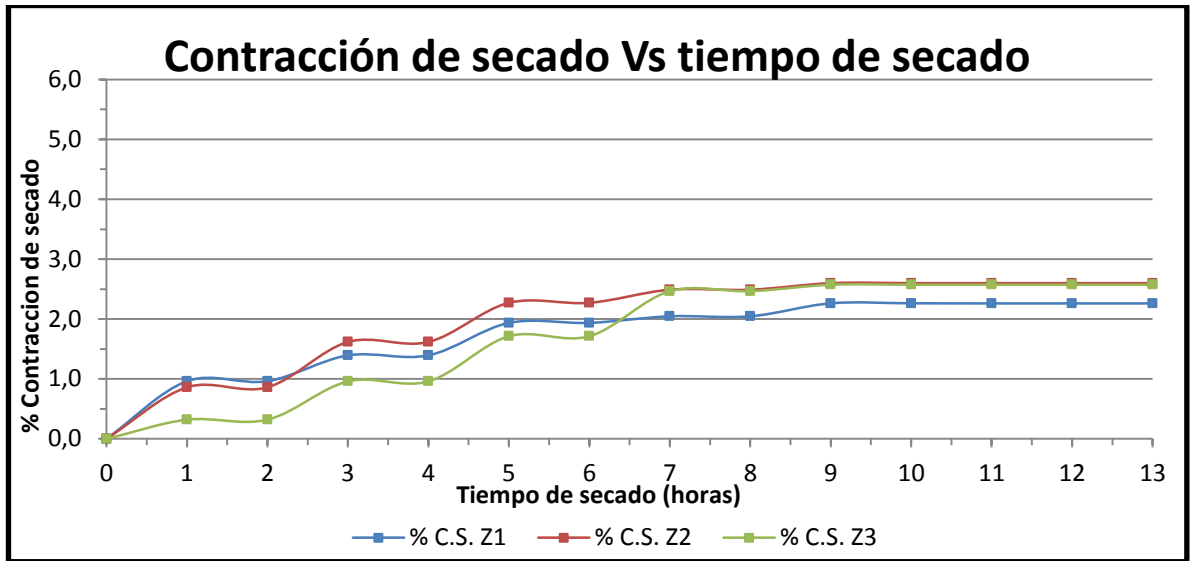
Fuente: Análisis del sistema actual de secado de bloques en la empresa ladrillera Ocaña y propuesta de mejoramiento.

Grafica 7. Humedad del material en función del tiempo de secado.



Fuente: Análisis del sistema actual de secado de bloques en la empresa ladrillera Ocaña y propuesta de mejoramiento.

Grafica 8. Contracción del material en función del tiempo de secado.



Fuente: Análisis del sistema actual de secado de bloques en la empresa ladrillera Ocaña y propuesta de mejoramiento.

Teniendo en cuenta el comportamiento del cuarto de secado analizamos como era el comportamiento de la temperatura, humedad, caudal y velocidad durante las doce horas del proceso de secado de los bloques en la cual determinamos que la zona tres era donde más se presentaba la mayor cantidad de humedad posible. Ver la tabla 16.

• **Características del túnel de secado para el bloque cerámico.**

Tabla16. Diferencia entre las tres zonas del túnel de secado artificial.

Zona 1		Zona 2		Zona 3	
L=	13m	L=	13m	L=	13m
t=	13h	t=	13h	t=	13h
V=	3,98	V=	4 m/s	V=	2,03 m/s
X <sub>1</sub> =	240,32Kg	X <sub>5</sub> =	478,8Kg	X <sub>9</sub> =	602,44Kg
X <sub>4</sub> =	500,22Kg	X <sub>8</sub> =	533,4Kg	X <sub>13</sub> =	240,74Kg
H <sub>20</sub> /h	H <sub>20</sub> /h	H <sub>20</sub> /h	H <sub>20</sub> /h	H <sub>20</sub> /h	H <sub>20</sub> /h
L/4=	3,25	L/4=	3,25	L/4=	3,25
L/4=	3,25 m	L/4=	3,25 m	L/4=	3,25 m
%H	85%	%H	85%	%H	91%
%H	85%	%H	85%	%H	97%
T <sub>amb</sub>	55,28°C	T <sub>amb</sub>	76,88°C	T <sub>amb</sub>	61,43°C
6:00 <sub>pm</sub>	9:00 <sub>pm</sub>	1:00 <sub>am</sub>		6:00 <sub>am</sub>	

**4.3.2 Sistema de extracción**

Para la seleccionar el sistema de extracción se tiene en cuenta en donde se presenta la mayor cantidad de humedad posible, la cual se determinó al final de cada zona. El tramo de túnel que produce mayor cantidad de humedad es la zona III.

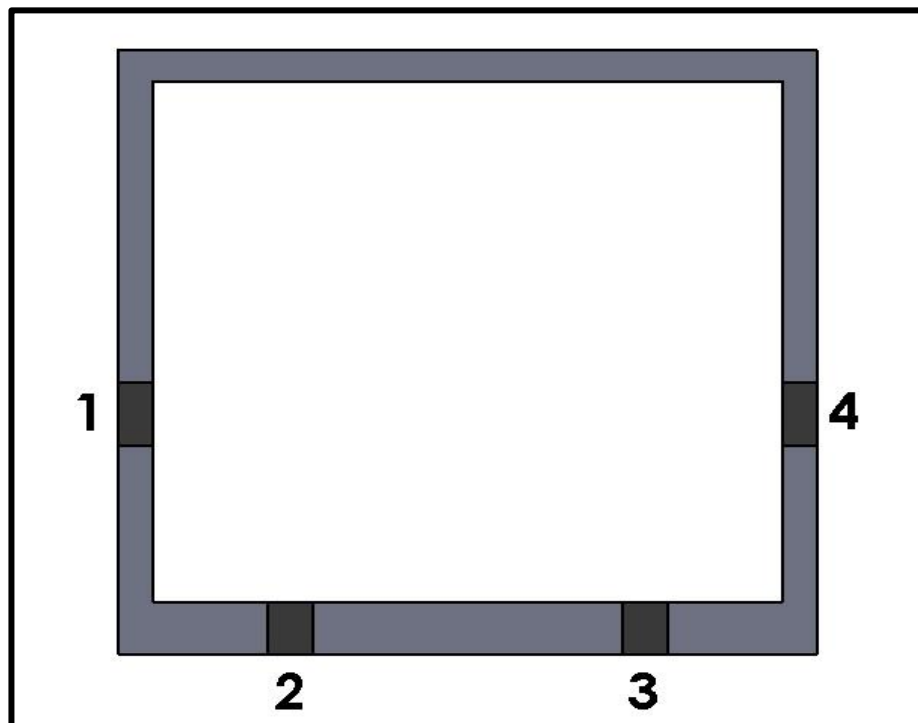
$$X_{ZONA 3} = 430.08 \frac{Kg \text{ agua}}{zona} * \frac{zona}{4h}$$

$$Q_{retirar} = 107.52 \frac{kg \text{ agua}}{h}$$

El túnel de secado tendrá dos puntos de donde se extraerán la humedad dispuestas cada una a 13m de distancia.

Cada punto tendrá 4 campanas de extracción para hacer así de maneras más efectiva y distribuida la evacuación de la humedad, dispuestas en las paredes laterales y en el suelo del túnel.

Figura 22. Campanas de extracción.



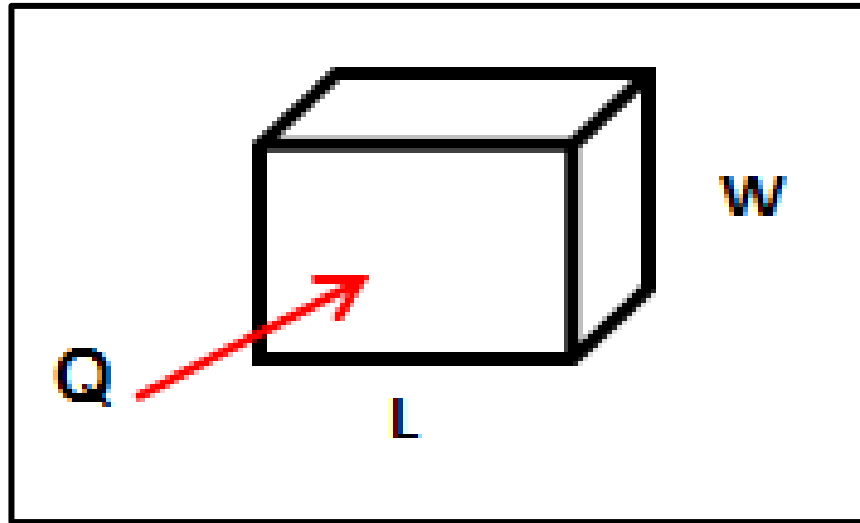
Fuente: Autores del proyecto.

#### 4.3.2.1 Tipo de campana

Teniendo en cuenta la comodidad de la instalación y una fácil construcción se selecciona una campana tipo cabina:



Figura 23. Campana tipo cabina.



Donde por recomendación de SODECA<sup>18</sup>

$$Q = V * A = V * W * L$$

Con factor de forma

$$\frac{W}{L} = \text{adaptada a la operacion}$$

Se toma para las campanas una dimensión de:

$$W = 0.2 \text{ m}$$

$$L = 0.2 \text{ m}$$

- **Velocidad de extracción o captura.**

Donde se toma la velocidad de captura según recomendación de SODECA<sup>19</sup> para:  
Condiciones de dispersión del contaminante:

- **Generación activa en una zona de rápido movimiento de aire.**

Límite superior:

- **Gran producción, uso continuo, y campana pequeña, únicamente control local**

Por tanto se toma:  $V=2.5 \text{ m/s}$

Caudal de la campana:

<sup>18</sup> Tipos de Campanas de extracción. Disponible en internet en : [http://www.sodeca.com/amplia\\_img/sv6.html](http://www.sodeca.com/amplia_img/sv6.html)

<sup>19</sup> Recomendación de velocidades de extracción. Disponible en internet en [http://www.sodeca.com/amplia\\_img/velocidadcaptura1.html](http://www.sodeca.com/amplia_img/velocidadcaptura1.html)

$$Q = V * A = V * W * L$$

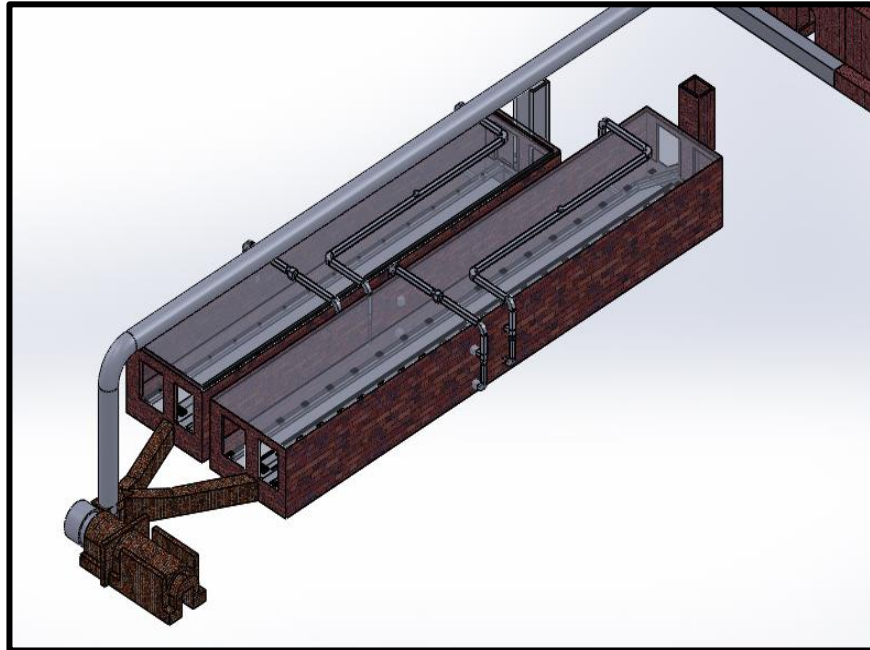
$$Q = \left(2.5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) * (0.2\text{m}) * (0.2\text{m})$$

$$Q = 0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Este caudal es mayor que el generado por el secado de los productos, luego se garantiza que se extraerá la mayor cantidad de aire húmedo posible.

#### 4.3.2.2 Circuitos de extracción de humedad

Figura 24. Sistema de extracción.



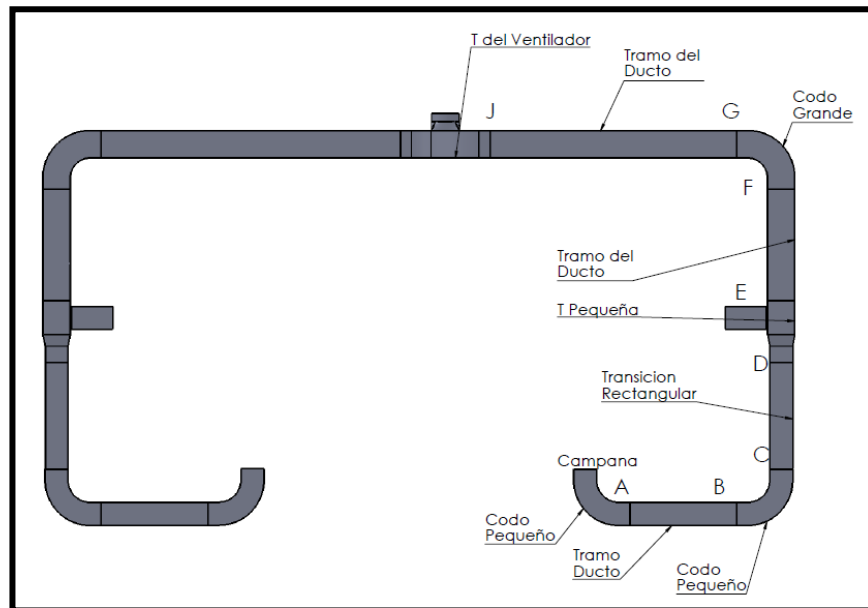
Fuente: Autores del proyecto.

Cabe destacar que debido a que el túnel de secado no cuenta con un sistema de extracción nos obliga a implementar un nuevo diseño del sistema de extracción de humedad.

Para realizar el análisis de las pérdidas de presión en la línea de extracción, se recurrirá al método de análisis por ruta crítica, el cual nos dará un valor aproximado de la pérdida más significativa en todo el sistema.

- **Ruta Crítica**

Figura 25. Vista frontal del sistema de extracción.



Fuente: Autores del proyecto.

La ruta crítica es la sección más larga, que es la que presenta mayores pérdidas de presión.

Figuras del sistema de extracción de humedad.

- **Tramo A-B**

Esta parte de tramo maneja el caudal que se extrae la campana, por economía y fácil construcción tienen las mismas dimensiones de la misma.

$$Area_{A-B} = (0.2m * 0.2m)$$

$$Area_{A-B} = 0.04m^2$$

$$L = 1 m$$

- **Tramo C-D**

$$Area_{C-D} = (0.2m * 0.2m)$$

$$Area_{A-B} = 0.04m^2$$

$$L = 1.5m$$

- **Perdidas tramo A-D**

Estos tramos tienen las mismas secciones transversales y por ende las mismas velocidades de flujo. Ecuación de Darcy para la pérdida de energía.

$$h_L = f * \frac{L}{D_h} * \left( \frac{V}{1.289} \right)^2$$

Dónde:

Ecuación para transformar de sección rectangular a circular

$$D_h = \frac{4A}{PM}$$

$$a = 0.2 \text{ m}$$

$$b = 0.2 \text{ m}$$

Luego

$$D_h = \frac{4(0.2\text{m} * 0.2\text{m})}{2(0.2 \text{ m} + 0.2 \text{ m})}$$

$$D_h = 0.2 \text{ m}$$

Velocidad de flujo

$$V = 2.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ecuación de factor de fricción para flujo turbulento<sup>20</sup>.

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{D_h}{\varepsilon} \right)} + \frac{5.7}{NR^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Rugosidad<sup>21</sup>

$$\varepsilon = 4.6 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Numero de Reynolds.

$$NR = \frac{VD_h}{\nu}$$

La viscosidad cinemática se determinó con la altura a la que se encuentra Ocaña a nivel del mar.

$$\nu = 1.69 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

<sup>20</sup>CENGEL. Transferencia de calor y masa, 3ed.mexico, Mc Graw Hill, p867.

<sup>21</sup>CENGEL. Transferencia de calor y masa, 3ed.mexico, Mc Graw Hill, p867.

Remplazando en la ecuación anterior.

$$NR = \frac{\left(2.5 \frac{m}{s}\right) * (0.2m)}{1.69 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 29.58 \times 10^3$$

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{0.2 m}{4.6 \times 10^{-3} m} \right)} + \frac{5.74}{(29.58 \times 10^3)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.053$$

Perdida de energía se obtuvo remplazando en la ecuación:

$$h_L = 0.053 * \frac{1m + 1.5m}{0.2m} * \left( \frac{2.5 \frac{m}{s}}{1.289} \right)^2$$

$$h_L = 2.5 \text{ pa.}$$

- **Tramo E-F**

Esta parte de tramo maneja el caudal que se extrae de dos campanas.

$$Q = 2 \left( 0.1 \frac{m^3}{s} \right) = 0.2 \frac{m^3}{s}$$

Para el área transversal del tramo se deja una de las medidas igual y la otra se modifica.

$$Area_{E-F} = (0.2m * 0.3m)$$

$$Area_{A-B} = 0.06 \text{ m}^2$$

$$L_{E-F} = 1 \text{ m}$$

- **Tramo G-J**

Este tramo maneja el mismo caudal del tramo E-F

$$Area_{G-J} = (0.2m * 0.3m)$$

$$Area_{A-B} = 0.06 \text{ m}^2$$

$$L_{E-F} = 2.67 \text{ m}$$

- **Perdidas en el tramo E-J**

Ecuación de Darcy para la pérdida de energía.

$$h_L = f * \frac{L}{D_h} * \left( \frac{V}{1.289} \right)^2$$

Dónde:

Ecuación para transformar de sección rectangular a circular

$$D_h = \frac{4A}{PM}$$

$$a = 0.2 \text{ m}$$

$$b = 0.3 \text{ m}$$

Luego

$$D_h = \frac{4(0.2\text{m} * 0.3\text{m})}{2(0.2 \text{ m} + 0.3 \text{ m})}$$

$$D_h = 0.24 \text{ m}$$

Velocidad de flujo

$$V = 2.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ecuación de factor de fricción para flujo turbulento.

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{D_h}{\varepsilon} \right)} + \frac{5.7}{NR^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$\varepsilon = 4.6 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Numero de Reynolds.

$$NR = \frac{VD_h}{\nu}$$

$$\nu = 1.69 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Remplazando en la ecuación anterior.

$$NR = \frac{\left(2.5 \frac{m}{s}\right) * (0.24m)}{1.69 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 35.50 \times 10^3$$

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{0.24 m}{4.6 \times 10^{-3} m} \right)} + \frac{5.74}{(35.50 \times 10^3)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.05$$

Perdida de energía:

$$h_L = 0.05 * \frac{1m + 2.67m}{0.24m} * \left( \frac{2.5 \frac{m}{s}}{1.289} \right)^2$$

$$h_L = 2.87 Pa$$

- **Tramo K-M**

Esta parte de tramo maneja el caudal que se extrae de las cuatro campanas.

$$Q = 4 \left( 0.1 \frac{m^3}{s} \right) = 0.4 \frac{m^3}{s}$$

Luego el área transversal es:  $\frac{A}{v} \therefore 2.5 m/s$

$$A = \frac{0.4 \frac{m^3}{s}}{2.5 m/s} \rightarrow A = 0.16 m^2$$

Dejando una de las medidas de tramo E-J.

$$Area_{K-M} = (0.533m * 0.3m)$$

$$Area_{A-B} = 0.16 m^2$$

$$L_{K-M} = 6.5 m$$

- **Perdidas en el tramo K-M**

Ecuación de Darcy para la pérdida de energía.

$$h_L = f * \frac{L}{D_h} * \left( \frac{V}{1.289} \right)^2$$

Dónde:

Ecuación para transformar de sección rectangular a circular

$$D_h = \frac{4A}{PM}$$
$$a = 0.53 \text{ m}$$
$$b = 0.3 \text{ m}$$

Luego

$$D_h = \frac{4(0.53\text{m} * 0.3\text{m})}{2(0.2 \text{ m} + 0.3 \text{ m})}$$

$$D_h = 0.63 \text{ m}$$

Velocidad de flujo

$$V = 2.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ecuación de factor de fricción para flujo turbulento.

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{D_h}{\varepsilon} \right)} + \frac{5.7}{NR^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$\varepsilon = 4.6 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Numero de Reynolds.

$$NR = \frac{VD_h}{\nu}$$

$$\nu = 1.69 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Remplazando en la ecuación anterior.

$$NR = \frac{\left( 2.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) * (0.63 \text{ m})}{1.69 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 93.19 \times 10^3$$

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{0.63 \text{ m}}{4.6 \times 10^{-3} \text{ m}} \right)} + \frac{5.74}{(93.19 \times 10^3)^{0.9}} \right) \right]^2}$$



$$f = 0.035$$

Perdida de energía:

$$h_L = 0.035 * \frac{6.5 \text{ m}}{0.63 \text{ m}} * \left( \frac{2.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.289} \right)^2$$

$$h_L = 1.35 \text{ Pa}$$

- **Perdidas en los accesorios.** Teniendo en cuenta los parámetros para el cálculo de pérdidas en ductos de sección rectangular<sup>22</sup>, se tiene:

Formula de pérdidas de presión por accesorios.

$$P = k * \left( \frac{V}{1,289} \right)^2$$

Dónde:

K = coeficiente de resistencia.

V = velocidad de flujo en el ducto.

$$P = 4 * 1,2 + 2 * 0,31 + 2 * 0,74 + 2 * 1,1 + 2 * 0,47 + 2 * 0,80 + 2 * 0,31 + .74 * \left( \frac{2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,289} \right)^2 \rightarrow \mathbf{P = 48,90Pa}$$

Pérdida total de la ruta crítica del sistema de extracción.

$$P_{total} = h_{ruta\ crítica} + P_{accesorios}$$

$$P_{total} = 2(7,57Pa) + 48,90Pa$$

$$\mathbf{P_{total} = 64Pa}$$

---

<sup>22</sup> Tabla de coeficientes de pérdidas en accesorios (conductos de aire). Disponible en internet en <http://www.emc.uji.es/asignatura/obtener.php?letra=9&codigo=29&fichero=1082540441929>

Tabla 17. Coeficientes de pérdidas en accesorios.

Accesorios	Cantidad	K	Carácter
<b>Codo Pequeño</b>	4	1.2	$\frac{H}{W} = 1$ $\Theta=90$
<b>Transversal rectangular</b>	2	0.31	$\Theta=90$ $\frac{A_1}{A} = 2$
<b>T pequeña</b>	2	0.74	$\frac{V_b}{V_c} = 1$ $\frac{Q_b}{Q_c} = 0.5$
<b>Codo grande</b>	2	1.1	$\frac{H}{W} = 2$ $\Theta=90$
<b>Transversal rectangular</b>	2	0.47	$\Theta=90$ $\frac{A_1}{A} = 1.5$
<b>T grande</b>	2	0.80	$\frac{V_b}{V_c} = 1$ $\frac{Q_b}{Q_c} = 0.66$
<b>Transversal rectangular</b>	2	0.31	$\Theta=138$ $\frac{A_1}{A} = 2$
<b>T ventilador</b>	1	0.74	$\frac{V_b}{V_c} = 1$ $\frac{Q_b}{Q_c} = 0.5$

Fuente: Coeficientes de pérdidas en accesorios (conductos de aire).

- **Parámetros de selección del ventilador de extracción.**

$$Q = (0,7 \frac{m^3}{s}) \left( \frac{3600s}{1h} \right) \rightarrow Q = 2520 \frac{m^3}{s}$$

$$P_{total} = 64 Pa$$

Seleccionando del catálogo interactivo de la SODECA<sup>23</sup> se tiene que:

- **Extractor centrífugo de la serie. TCMP-1025-4T-2-F-400**

$$Q = 0,9628 \frac{m^3}{s}$$

$$P_{estatica} = 121,08 Pa$$

$$P_{dinamica} = 320,94 Pa$$

$$n = 1420 rpm$$

$$Potencia = 1,6 KW$$

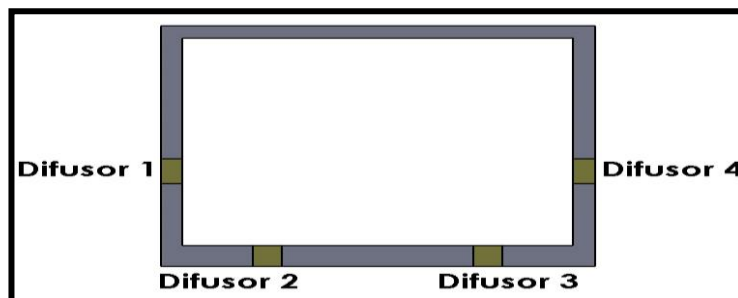
La configuración del extractor seleccionado se puede apreciar en el anexo F.

### 4.3.3 Sistema de renovación de aire

Para la selección del sistema de renovación se tiene en cuenta la cantidad de caudal que se evacua con el sistema de extracción, y la distancia a la misma.

El túnel de secado tendrá un punto, donde se suministrara la renovación del aire dispuesto a 1 m del sistema de extracción. El punto de renovación tendrá 4 difusores de aire para que se haga una distribución uniforme en la sección de túnel. Los difusores están situados en las paredes laterales del túnel.

Figura 26. Sistema de renovación de aire.



Fuente: Autores del proyecto.

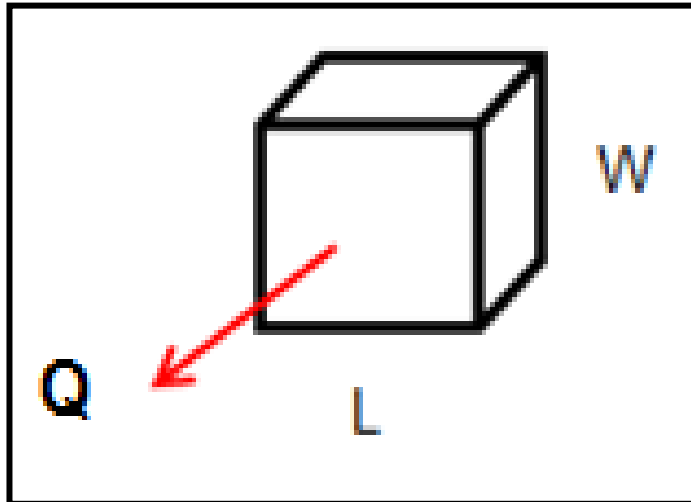
<sup>23</sup> Catálogo de Extractores para la evacuación de Humos. Disponible en internet en: [http://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/ES/CT03\\_400C\\_2014ES.pdf](http://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/ES/CT03_400C_2014ES.pdf)

Cada punto de renovación tendrá los mismos accesorios, pero con la diferencia que se utilizara para cada punto un ventilador con las mismas características, debido que un punto se encarga de renovar aire caliente y el otro serán de aire ambiente.

#### 4.3.3.1 Tipo de difusor.

Teniendo en cuenta la comodidad de la instalación, se instalara un difusor sencillo:

Figura 27. Difusor sencillo:



$$L = 0,1m$$

$$W = 0,3m$$

$$A_{DIFUSOR} = 0,1m * 0,3m$$

$$A_{DIFUSOR} = 0,03m^2$$

- **Caudal del difusor.**

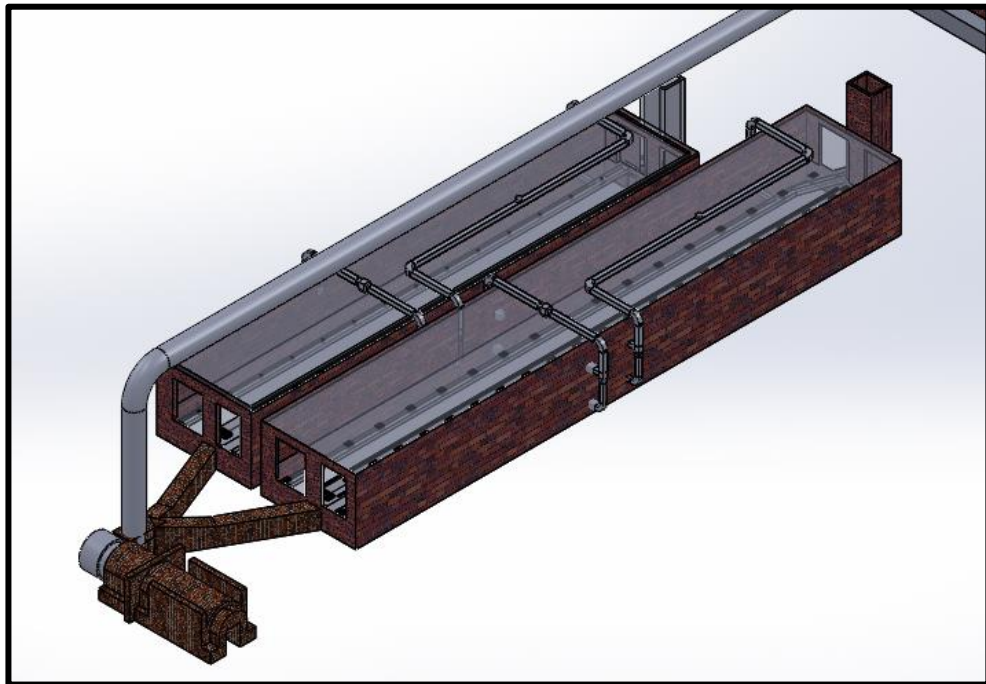
$$Q_{DIFUSOR} = 0,4 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{DIFUSOR} = \frac{Q_{PUNTO DE EXTRACCION}}{\# DE DIFUSORES POR PUNTO}$$

$$Q_{DIFUSOR} = \frac{0,4 \frac{m^3}{s}}{4} \rightarrow Q_{DIFUSOR} = 0,1 \frac{m^3}{s} \quad \therefore \quad V = 2,5 \frac{m}{s}$$

### 4.3.3.2 Circuito de renovación de aire

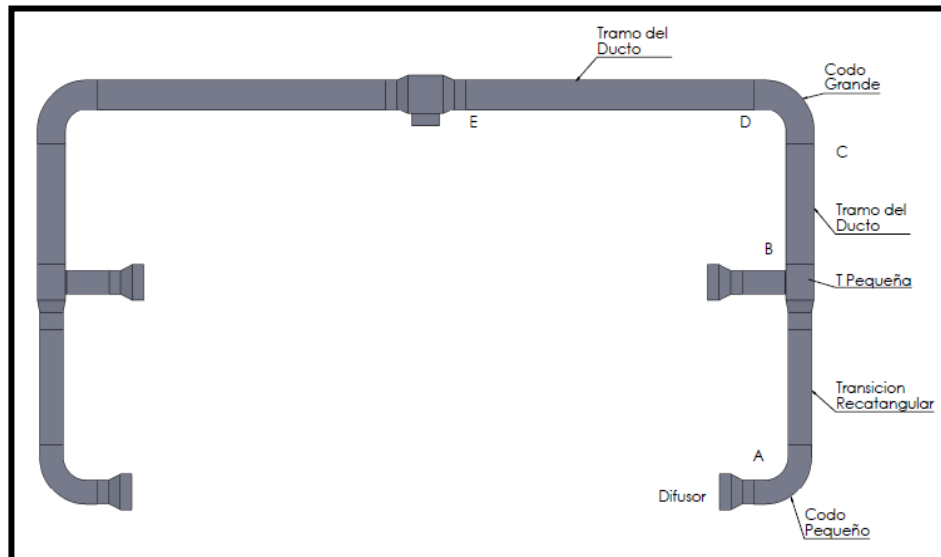
Figura 28. Circuito de renovación de aire.



Fuente: autores del proyecto.

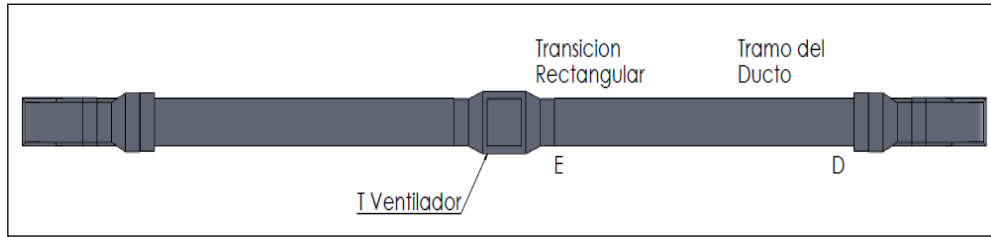
- **Ruta crítica**

Figura 29. Vista frontal del sistema de renovación de aire.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 30. Porción de la vista frontal del sistema de renovación.



Fuente: Autores del proyecto.

- **Tramo B-C.** Maneja el caudal que se va a suministrar a dos difusores.

$$AREA_{B-C} = 0,2m * 0,3m$$

$$L = 1m$$

- **Tramo D-E.**

$$AREA_{BC} = 0,2m * 0,3m$$

$$L = 2,67m$$

- **Tramo B-E.**

Estos tramos tienen las mismas secciones transversales y por lo tanto las mismas velocidades de flujo.

Ecuación de Darcy para la pérdida de energía.

$$h_l = f * \frac{l}{D_h} * \left( \frac{V}{1,289} \right)^2$$

Donde la ecuación para transformar de sección rectangular a circular.

$$D_h = \frac{4A}{PM}$$

$$a = 0,2m$$

$$b = 0,3m$$

Tenemos.

$$D_h = \frac{4(0,06m^2)}{2(0,3m + 0,2m)}$$

$$D_h = 0.24$$

Velocidad de flujo.

$$V = 2,5 \frac{m}{s}$$

Ecuación de factor de fricción para flujo turbulento.

$$f = \frac{0,25}{\log\left(\frac{1}{3,7 \frac{D_h}{\varepsilon}} + \frac{5,7}{NR^{0,9}}\right)^2}$$

Rugosidad.

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-3} m$$

Numero de Reynolds.

$$NR = \frac{VD_h}{\nu} \rightarrow NR = \frac{\left(2,5 \frac{m}{s}\right)(0,24m)}{1,69 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}} \quad NR = 35,502 \times 10^3$$

$$\nu = 1,69 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$f = \frac{0,25}{\log\left(\frac{1}{3,7 \frac{0,24}{4,6 \times 10^{-3}}} + \frac{5,7}{(35,502 \times 10^3)^{0,9}}\right)^2}$$

$$f = 0,05$$

Perdida de energía.

$$h_l = 0,05 * \frac{1m + 2,67m}{0,24m} * \left(\frac{2,5 \frac{m}{s}}{1,289}\right)^2$$

$$h_l = 2,87 Pa$$

- **Perdidas de presión por accesorios.**

$$P = k * \left( \frac{V}{1,289} \right)^2$$

Dónde:

K = coeficiente de resistencia.

V= velocidad de flujo en el ducto.

Tabla 18. Pérdidas en los Accesorios en el sistema de renovación.

Accesorios	Cantidad	K	Carácter
<b>Codo Pequeño</b>	2	1.2	$\frac{H}{W} = 1$ $\Theta=90$
<b>Transversal rectangular</b>	2	0.31	$\Theta=90$ $\frac{A_1}{A} = 2$
<b>T pequeña</b>	2	0.74	$\frac{V_b}{V_c} = 1$ $\frac{Q_b}{Q_c} = 0.5$
<b>Codo grande</b>	2	1.1	$\frac{H}{W} = 2$ $\Theta=90$
<b>Transversal rectangular</b>	2	0.47	$\Theta=90$ $\frac{A_1}{A} = 1.5$
<b>T ventilador</b>	1	0.74	$\frac{V_b}{V_c} = 1$ $\frac{Q_b}{Q_c} = 0.5$

Fuente: Coeficientes de pérdidas en accesorios (conductos de aire).



$$P = 2 * 1,2 + 2 * 0,31 + 2 * 0,74 + 2 * 1,1 + 2 * 0,47 + 0,74 * \left(\frac{2,5 \frac{m}{s}}{1,289}\right)^2$$

$$P = 31,52 Pa$$

- **Pérdida total de la ruta crítica del sistema de renovación.**

$$P_{total} = h_{l_{ruta\ crítica}} + P_{accesorios}$$

$$P_{total} = 11 Pa + 2,87 Pa$$

$$P_{total} = 13,87 Pa$$

Del catálogo de SODECA<sup>24</sup> se selecciona:

- **Parámetros de selección del ventilador de renovación.**

$$Q = (0,4 \frac{m^3}{s}) \left(\frac{3600s}{1h}\right) \rightarrow Q = 1440 \frac{m^3}{s}$$

$$P_{estática} = P_{total} = 11,7 Pa$$

- **Ventilador helicoidal tubular bifurcado con motor fuera del flujo del aire de la serie.**

HBA-40-2T-1,5

$$Q = 0,4328 \frac{m^3}{s}$$

$$P_{estática} = 16,24 Pa$$

$$P_{dinámica} = 6,35 Pa$$

$$n = 2800 rpm$$

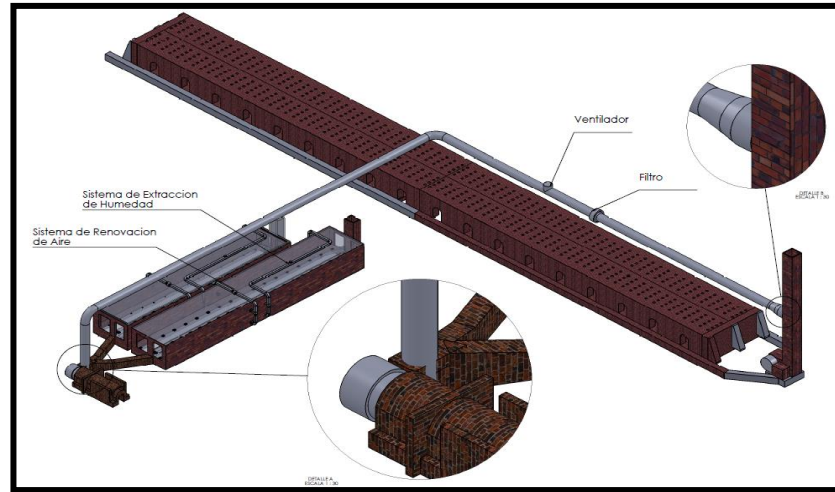
$$Potencia = 1,1 KW$$

Las características del ventilador seleccionado se pueden ver en el anexo G.

A continuación se detalla en la figura 31 el sistema de extracción de humedad y su respectivo sistema de renovación de aire.

<sup>24</sup>Catálogo de Ventiladores Helicoidales de SODECA. Disponible en internet en [http://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/ES/CT07\\_helicoidales\\_tejado\\_2013ES.pdf](http://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/ES/CT07_helicoidales_tejado_2013ES.pdf)

Figura 31. Plano de todo el diseño.

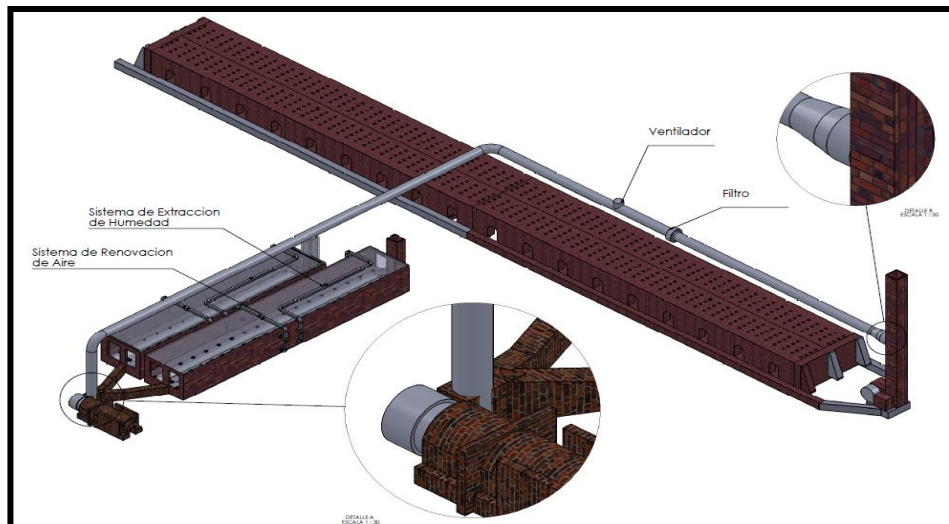


Fuente: Autores del proyecto.

#### 4.3.4 Sistema de recuperación de los gases generados por el horno Hoffman.

Para la recuperación de los gases generados por el horno Hoffman, fue necesario calcular las pérdidas que generan los accesorios como también las perdidas por longitud, por otra parte el sistema lleva un dámper en la chimenea. Una cosa importante es el tratamiento que se le hacen a los gases por medio de un filtro de tela que hace que se purifiquen y se eliminan las partículas. A continuación se detalla en la figura 32 el sistema de recolección de los gases.

Figura 32. Sistema de recuperación de los gases.

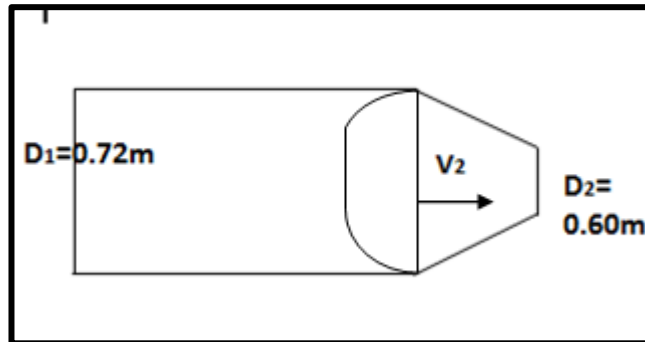


Fuente: Autores del proyecto.

$$Q = V.A \rightarrow V = \frac{Q}{A} = \frac{4,32 \frac{m^3}{s}}{0,72m^2} \therefore A_{chimenea} = 0,9m * 0,8m \rightarrow A = 0,72m^2$$

$$V = 6 \frac{m}{s}$$

Figura 33. Contracción gradual



Fuente: autores del proyecto.

$$D_1 = 0,72m$$

$$D_2 = 0,50m$$

Para una contracción.<sup>25</sup> Ver anexo (H)

Para un.  $\theta \geq 15^\circ$  ,  $\theta = 60^\circ$  ,  $k = 0,05$

$$R = \frac{D_1}{D_2} \rightarrow R = 1,2$$

$$Q = V.A \rightarrow V_2 = \frac{Q}{A} = \frac{4,32 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4}(0,6m)^2}$$

$$V_2 = 15,28 \frac{m}{s}$$

La pérdida en la contracción gradual es:

$$h_1 = k \frac{V^2}{2g} = 0,055 \left[ \frac{(15,28 \frac{m}{s})^2}{2 \left( 9,81 \frac{m}{s^2} \right)} \right]$$

$$R_e = \frac{VD}{\nu} = \frac{(15,28 \frac{m}{s})(0,6m)}{1,69 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}} \rightarrow R_e = 542485,20 \text{ (flujo turbulento)}$$

$$h_1 = 0,65m$$

<sup>25</sup> ROBERTH MOOT. Mecánica de fluidos, 6ed.mexico, Pearson educación, p290-295.

$$h_l = f * \frac{l}{D} * \frac{V^2}{2g} = (0.036)(83m) \left[ \frac{(15,28 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})} \right]$$

$$h_l = 35.55m$$

Acero AISI-316 con un  $\varepsilon=0.05$

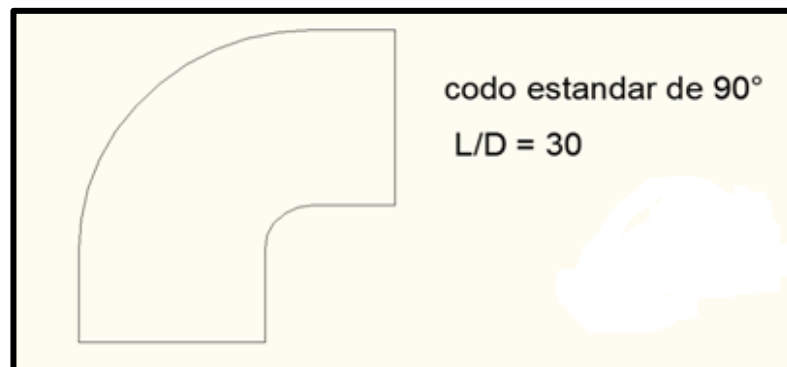
$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.05}{0.6} \rightarrow \frac{\varepsilon}{D} = 0.833$$

Numero de Reynolds.  $NR = 542485.20 = 5.42 \times 10^5$  Según el diagrama de Moody. Ver anexo I

$$F = 0.036$$

Perdidas por accesorios 2 codos de  $90^\circ$ <sup>26</sup> ver figura 33.

Figura 34. Codo de 90 estándar.



Fuente: autores del proyecto.

$$f = 0.036$$

$$k_{codo} = f_r * \frac{l}{D}$$

$$h_{codo} = (30)(0.036) \left[ \frac{(15,28 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})} \right]$$

$$h_{codo} = 12.85m * 2$$

$$h_{codo} = 25.70m$$

$$h_{accesorios} = h_1 + h_{codo}$$

$$h_{accesorios} = 25.70m + 0.65m$$

<sup>26</sup> ROBERT L. MOTT .Mecánica de fluidos. 6 Ed México. Pearson educación. 2006, p279.

$$h_{\text{accesorios}} = 26.35m$$

$$h_{\text{total}} = h_l + h_{\text{accesorios}} = 35.55m + 26.35m$$

$$h_{\text{total}} = 62 \text{ m. c. a} \left( \frac{1000 \text{ Pa}}{1 \text{ m. c. a}} \right) = 68 \text{ Pa}$$

Del catálogo de SODECA<sup>27</sup> se selecciona:

- **Parámetros de selección del ventilador principal**

$$Q = 4.13 \frac{m^3}{s}$$

$$P_{\text{total}} = 608 \text{ pa}$$

- **Extractor axial de la serie HTP-56-2T-10-26°**

$$Q = 4.37 \text{ m}^3/s$$

$$P_E = 624.22 \text{ Pa.}$$

$$P_D = 186.51 \text{ Pa}$$

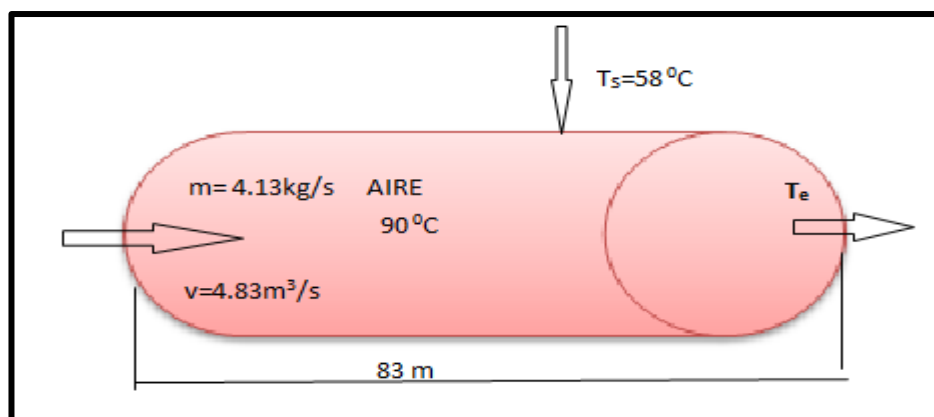
$$n = 2870 \text{ rpm}$$

$$P = 7.5 \text{ Kw}$$

Las características del ventilador seleccionado se pueden ver en el anexo J

- **Perdida de temperatura en todo el tramo de la tubería para la recuperación de los gases generados por el horno Hoffman.**

Figura 35. Variación de la temperatura media del fluido a lo largo del tubo<sup>28</sup>.



Fuente: autores del proyecto.

<sup>27</sup> Catálogo de Ventiladores Helicoidales de SODECA. Disponible en internet en [http://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/ES/HTP-56-2T-10-26°\\_2013ES.pdf](http://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/ES/HTP-56-2T-10-26°_2013ES.pdf)

<sup>28</sup> CENGEL. Transferencia de calor y masa, 3ed. Mexico, Mc Graw Hill, p460.

$$T_{amb} = 26^{\circ}\text{C}$$

$$T_{aire} = 90^{\circ}\text{C}$$

$$T_s = \frac{(26 + 90)^{\circ}\text{C}}{2} = 58^{\circ}\text{C}$$

De la ecuación de continuidad se tiene:  $Q = V \cdot A \rightarrow V = \frac{Q}{A}$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{(4.83 \text{ m}^3/\text{s})}{\frac{\pi(0.6\text{m})^2}{4}} = 17.08 \text{ m/s}$$

Ahora sacamos las propiedades del aire a  $90^{\circ}\text{C}$  se tiene ver anexo K.

$T(^{\circ}\text{C})$	$C_P$	$K$	$V$	$P_R$
90	1008	0.03024	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{\left(\frac{17.18\text{m}}{\text{s}}\right)(0.6\text{m})}{\left(\frac{2.201 \times 10^{-5} \text{m}^2}{\text{s}}\right)} = 465.60 \times 10^{-5} > 10.000 \text{ flujo turbulento.}$$

El cual es mayor que 10.000, por lo tanto el flujo es turbulento y aproximadamente la longitud de entrada es:  $L_h \approx L_t = 10D = 10(0.6\text{m}) = 6\text{m}$

Por lo tanto se puede suponer que se tiene un flujo turbulento completamente desarrollado en todo en el tubo y se determina el número de Nusselt con la siguiente expresión:

$$N_u = \frac{hD}{k} = 0.023 Re^{0.8} P_R^{0.3}$$

$$N_u = 0.023(465.60 \times 10^3)^{0.8} (0.7132)^{0.3}$$

$$N_u = 2.83$$

Entonces de la ecuación  $N_u = \frac{hD}{k}$  despejamos y hallamos el coeficiente convección (h)

$$h = \frac{N_u}{D} k \rightarrow \frac{(2.83)(0.03024) \text{ W/m}^{\circ}\text{C}}{0.6\text{m}} = 0.14 \text{ W/m}^2\text{C}$$

El área superficial del ducto es:  $A_s = \pi DL \rightarrow (\pi)(0.6\text{m})(83\text{m}) = 156.42\text{m}^2$

Para la determinación de la temperatura media del fluido en la salida del tubo se tiene la siguiente expresión:

$$T_e = T_s - (T_s - T_i) \exp\left(-\frac{hA_s}{mC_p}\right)$$

$$\left[ \frac{(-0.14)(156.42)}{(4.13)(1008)} \right]$$

$$T_e = 58^\circ\text{C} - (58^\circ\text{C} - 90^\circ\text{C}) \exp$$

$$T_e = 89.83^\circ\text{C}$$

Entonces la diferencia media logarítmica de temperatura y la razón de la pérdida de calor del aire quedan.

$$\Delta T_{Ln} = \frac{T_i - T_e}{\ln \frac{T_s - T_e}{T_s - T_i}} = \frac{(90 - 89.83)^\circ\text{C}}{\ln \left( \frac{58 - 89.83}{58 - 90} \right)^\circ\text{C}} = 31.91^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q} = hA_s \Delta T_{Ln} = (0.14 \text{ W/m}^2\text{C}) (156.45 \text{ m}^2) (31.91^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q} = 699.04 \text{ W.}$$

#### 4.3.5 Balance de masa del túnel de secado.

Condiciones del aire ambiente

$$T_{prom} = 24^\circ\text{C}$$

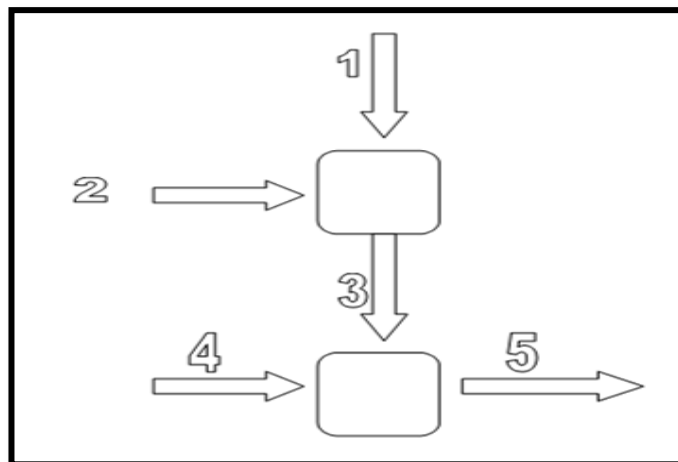
$$\%HR = 65\%$$

Estos datos fueron suministrados por el aeropuerto de Aguas claras quienes son los que manejan las condiciones climatológicas de la ciudad de Ocaña.

#### Calculo de balances de masa y energía

$$Q_{horno} = 4.32 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

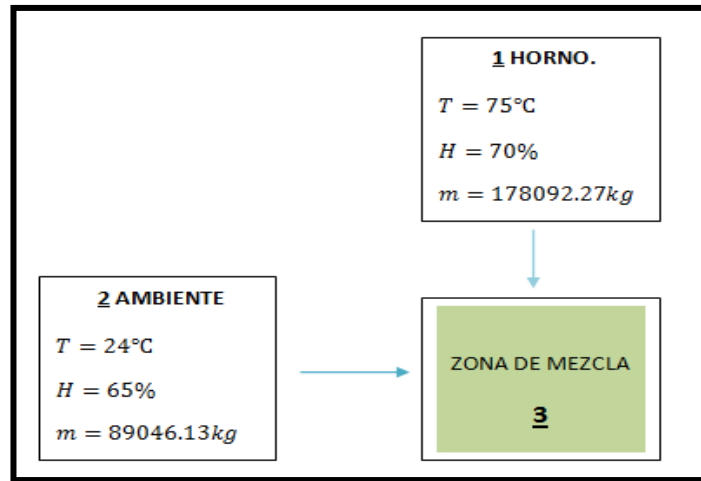
Figura 36. Esquema del balance de masa.



Fuente: Autores del proyecto

### 4.3.5.1 Mezcla a la entrada de inyección de aire

Figura 37. Balance de masa de la zona 1-2-3.



Fuente: Autores proyecto

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = m_3 h_3 \text{ ecuacion}$$

$$\text{donde: } m_3 = m_1 + m_2$$

Asumiendo que la masa del ambiente es la mitad de la masa del horno, sacando del diagrama psicométrico las propiedades de entalpia a diferentes temperaturas tenemos<sup>29</sup>:

$$T_1 = 75^{\circ}\text{C} \rightarrow h_2 = 671.98\text{kJ/Kg}$$

$$H = 70\%$$

$$T_2 = 24^{\circ}\text{C} \rightarrow h_1 = 54.73\text{kJ/Kg}$$

$$H = 65\%$$

$$m_3 = m_1 + m_2 \rightarrow m_3 = 178092.27\text{kg} + 89046.13\text{kg}$$

$$m_3 = 267138.4\text{kg}$$

Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$(178092.27\text{kg}) \left( \frac{54.73\text{kJ}}{\text{Kg}} \right) + (89046.13\text{kg}) \left( \frac{671.98\text{kJ}}{\text{Kg}} \right) = (267138.4\text{kg}) h_3$$

$$h_3 = 448.17\text{kJ/kg}$$

$$m_1 T_1 + m_2 T_2 = m_3 T_3$$

<sup>29</sup> Diagrama psicométrico de aire húmedo. Disponible en internet: <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm>



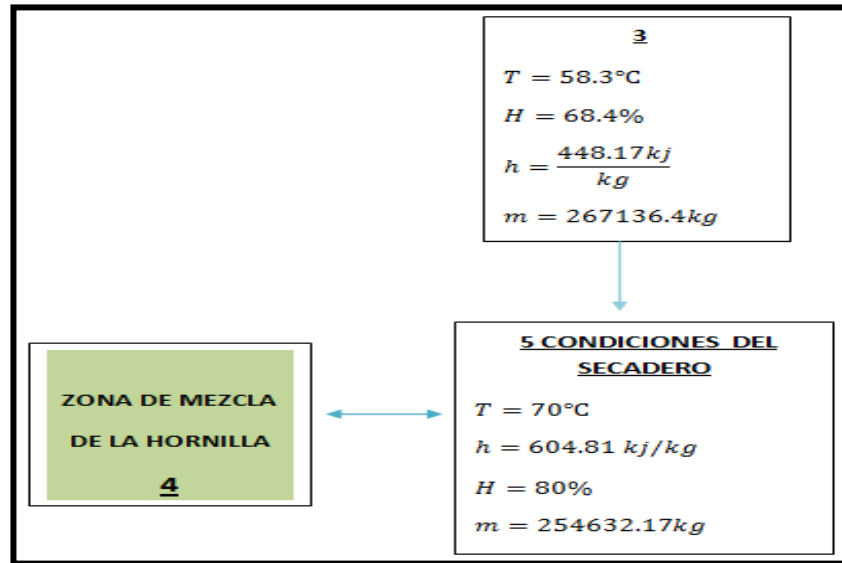
$$T_3 = 58.03^\circ\text{C}$$

$$m_1W_1 + m_2W_2 = m_3W_3$$

$$W_3 = 68.4\%$$

Ahora pasamos hacer el balance de masa de los puntos 3, 4,5.

Figura 38. Balance masa de la zona 3-4-5.



$$m_3h_3 + m_5h_5 = m_4h_4 \text{ ecuacion.}$$

$$m_4 = m_3 + m_5 \rightarrow m_5 = 267136.4 \text{ kg} + 254632.17 \text{ kg}$$

$$m_3 = 521768.57 \text{ kg}$$

Reemplazando en la ecuación tenemos:

$$(267136.4 \text{ kg}) \left( \frac{448.17 \text{ kJ}}{\text{Kg}} \right) + (254632.17 \text{ kg}) \left( \frac{604.81 \text{ kJ}}{\text{Kg}} \right) = (521768.57 \text{ kg}) h_4$$

$$h_4 = 524.61 \text{ kJ/kg}$$

$$m_3T_3 + m_5T_5 = m_4T_4$$

$$T_4 = 64^\circ\text{C}$$

$$m_1W_1 + m_2W_2 = m_3W_3$$

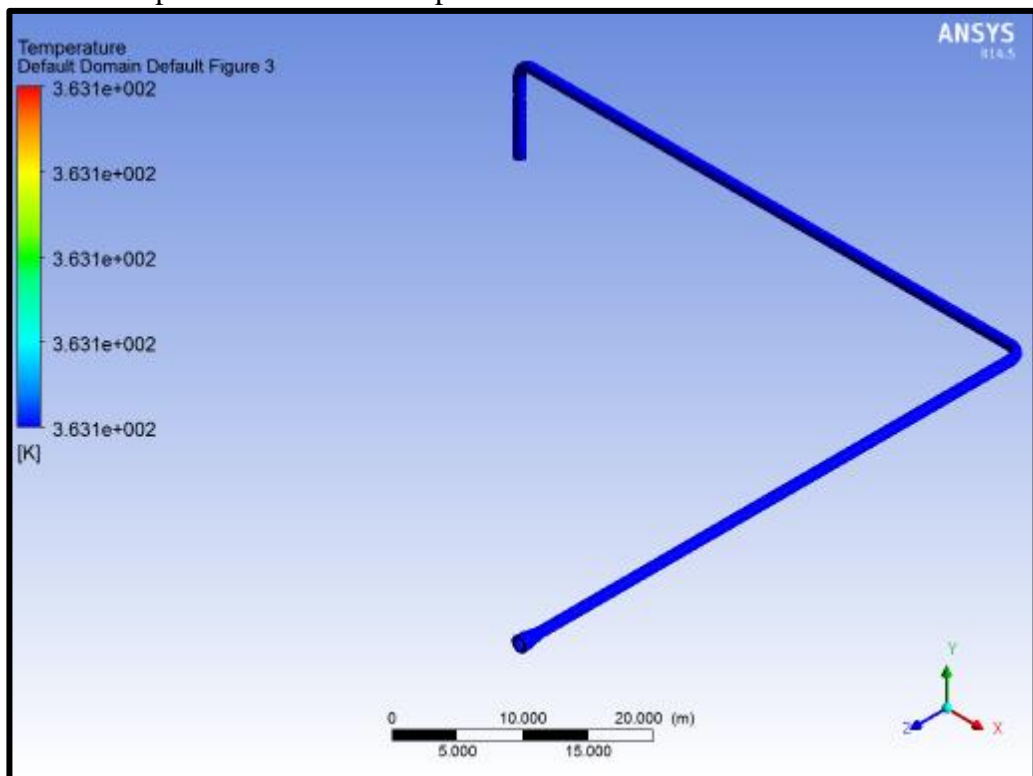
$$W_3 = 74.06\%$$

#### 4.4 ANALIZAR NUMÉRICAMENTE LA CANTIDAD DE ENERGÍA TÉRMICA DE LOS GASES PRODUCIDOS POR EL HORNO PARA EL PROCESO DE SECADO.

Las simulaciones se realizaron teniendo en cuenta el efecto térmico en la herramienta ANSYS CFX, en la cual se analizó cómo se comporta el flujo másico, la temperatura de los gases, gradiente de velocidad y la presión que se genera en la tubería. En el sistema de recuperación de los gases generados por el horno Hoffman para ser aprovechados en la etapa de secado. A continuación se detalla los parámetros analizados.

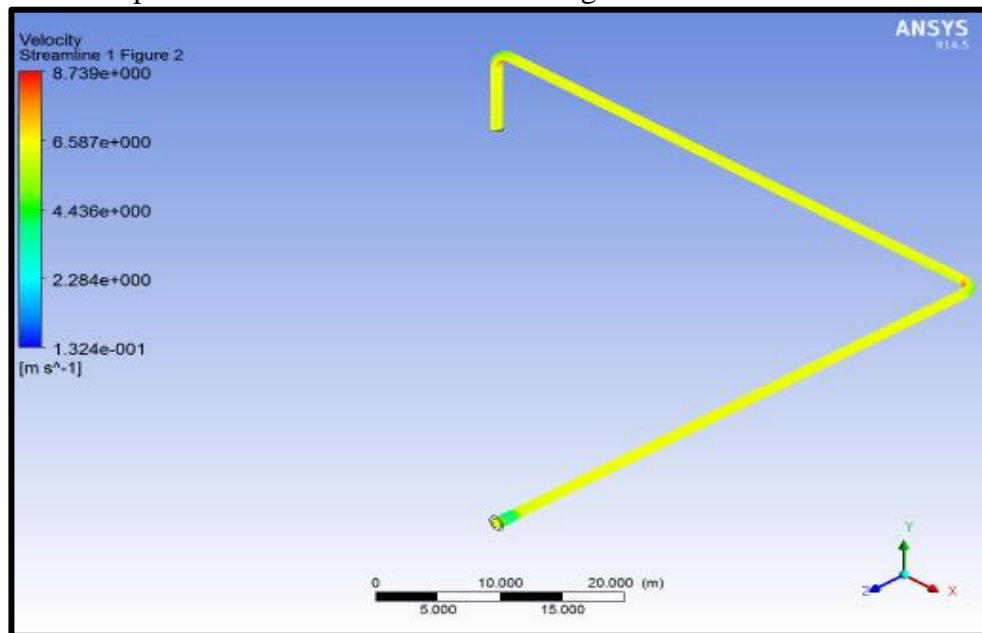
En la figura 39 se observa cómo se comporta la temperatura de los gases generados por el horno Hoffman, al haber accesorios siempre van a ver pérdidas pero como se nota en la figura están no afectan en la temperatura ya que se mantiene una temperatura constante en todo el ducto.

Figura 39. Comportamiento de la temperatura en el ducto.



Fuente: autores del proyecto.

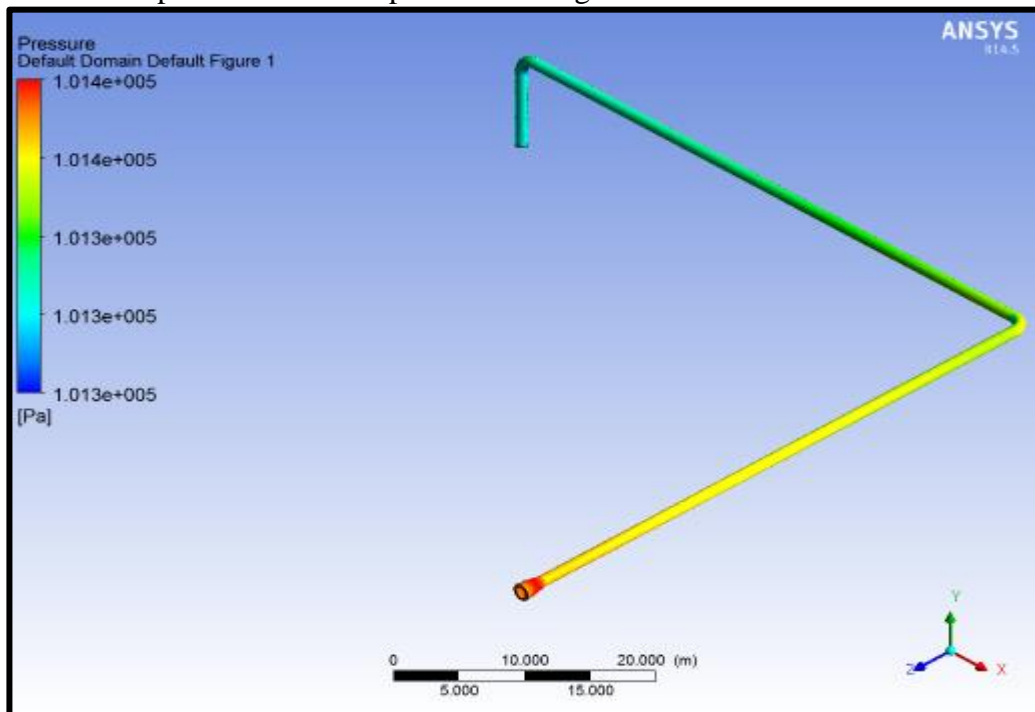
Figura 40. Comportamiento de la velocidad de los gases en el ducto.



**Fuente:** autores del proyecto.

En la figura 40 se observa cómo se comporta la velocidad de los gases en el ducto, debido a los accesorios donde más se presentan pérdidas es en los codos, sin embargo la velocidad es constante.

Figura 41. Comportamiento de la presión de los gases en el ducto.



**Fuente:** autores del proyecto.

En la figura 41 se muestra el comportamiento de la presión de los gases en el ducto, cabe resaltar que el punto crítico de la presión se genera en el inicio donde hay una contracción debido a que el área de la chimenea es más grande se genera más pérdidas, a pesar de que existe un dámper que es como una especie de válvula que regula la entrada o la salida de los gases.

#### 4.5 EVALUACION DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS GASES PRODUCIDOS POR EL HORNO EN EL PROCESO DE SECADO.

Dentro de los parámetros que inciden en la valoración de costos para la ejecución de un proyecto, se pueden mencionar los que están ligados directamente a este, dentro del punto de vista Mecánico, aunque se pretende dar un detalle informal de la parte civil esta puede variar dependiendo del lugar y persona encargada de realizar dicha labor. Para esta valoración de costos se tienen en cuenta los elementos mínimos calculados en el diseño, puesto que depende de los equipos necesarios para realizar el montaje.

ITEM	DESCRIPCION	PROVEEDOR	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	VENTILADOR PRINCIPAL	SODECA	1	\$10.453.000	\$10.453.000
2	EXTRACTOR	SODECA	1	\$4.100.000	\$4.100.000
3	VENTILADORES DE RENOVACION	SODECA	1	\$2.950.000	\$2.950.000
4	LAMINA INOXIDABLE CAL 18 DE 1.2 X 2.4 m	CORTE ACEROS	18 UND	\$155.000	\$2.790.000
5	AISLANTE FIBRA DE VIDRIO	FIBRATORE S.A	80 m	\$98.000	\$7.840.000
6	DAMPER	T&P REFRIGERACIÓN	1	\$630.000	\$630.000
7	DUCTERIA ACERO AISI 316.	GOOD FELLOW	83m	\$148.000	\$12.284.000
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$40.417.000</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$40.417.000</b>

Costos de mano de obra en montaje y fabricación de la ducteria y soportes para la fijación de los ductos a la estructura civil del túnel.

DESCRIPCION		COSTO
FABRICACION Y ADECUACION DE DUCTERIA	SOLDADOR-EQUIPO DE SOLDADURA-EQUIPO DE PLASMA	\$ 4.000.000
ADECUACIÓN DEL TÚNEL DE SECADO	MODIFICACIONES DEL CUARTO DE SECADO.	\$ 2.000.000
MONTAJE DE EQUIPOS	POSICIONAMIENTO FINAL DE EQUIPOS Y PUESTA A PUNTO	\$ 1.500.000
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 6.500.000</b>

Teniendo en cuenta los costos de fabricación y montajes, los cuales pueden variar dependiendo de la persona encargada de realizar dicha labor se estima un costo promedio de fabricación del proyecto en \$ 47.000.000 (cuarenta y siete millones de pesos m/cte.)

## 5. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este trabajo de grado se pudo llevar a cabo cada uno de los objetivos propuestos, principalmente se realizó la investigación respecto a la manera de mejorar el proceso de secado aprovechando los gases generados por el horno Hoffman en la ladrillera Ocaña.

Inicialmente se efectuó un análisis de las propiedades del carbón usado en la ladrillera, donde se pudo evidenciar que el carbón utilizado por la empresa, proveniente de Cúcuta, en el departamento de Norte de Santander, el cual es un carbón bituminoso alto en volátiles A con un contenido de 1.756% de humedad, 10.93% de cenizas, 44.76% de materia volátil y 0.48% de azufre. Además su poder calorífico neto es de 10043.42 cal/g (18034.12, Btu/lb). Estas propiedades lo hacen apto para el proceso de cocción de los bloques.

En segunda instancia se hizo un estudio isocinetico de los gases generados por dicho horno con el cual se pudo determinar el porcentaje de contaminación que tienen los gases distribuidos en los componentes químicos tales como: material particulado (MP), óxido de azufre (SO), óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y halógenos, realizando una comparación entre los resultados arrojados y la Resolución 909, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Cabe resaltar que con ese estudio la ladrillera Ocaña está cumpliendo con los requerimientos establecidos por la norma.

Después de lo anterior se determinaron los parámetros que rigen los gases generados en el proceso de cocción para ser transportados y aprovechados en el proceso de secado de los bloques cerámicos de lo cual, según los cálculos realizados se pudo concluir que para la extracción de humedad dentro del túnel de secado se pueden utilizar varios métodos, pero los que más se adaptan a las necesidades de diseño, construcción y mantenimiento; son sistemas de extracción y deshumidificadores que van a cumplir con la misma función. El sistema de extracción mecánico se seleccionó teniendo en cuenta los cálculos realizados con base a las recomendaciones dadas sobre estos sistemas.

Así mismo con el empleo de la herramienta ANSYS se realizó un análisis CFD (Dinámica de fluidos Computacional) con el fin de establecer la cantidad de energía térmica de los gases producidos por el horno para el proceso de secado lo cual permitió la visualización previa del sistema como un conjunto para realizar una serie de variables como es el comportamiento del flujo de aire en la ducteria principal para la recuperación de los gases generados por el horno Hoffman, de lo cual analizamos que la pérdida de temperatura, velocidad y presión de los gases es despreciable.

Finalmente se pudo evaluar las alternativas para el aprovechamiento de los gases producidos por el horno en el proceso de secado.

En virtud de lo anterior se puede demostrar que esta investigación es de gran importancia para la Ladrillera Ocaña tomando en cuenta que implementar este sistema ayudaría a disminuir costos al utilizar menos carbón y a su vez reducir perdidas en el producto final.

Según el estudio realizado al sistema de secado actual de la empresa Ladrillera Ocaña se encontraron fallas como, alto porcentaje de humedad relativa dentro del cuarto de secado, debido a que estos no cuentan con un sistema de extracción de humedad y las altas temperaturas que intervienen en el proceso forzando el secado del material.

Este trabajo permitió aplicar los conocimientos adquiridos en las áreas de aires acondicionado, ventilación industrial, termodinámica, transferencia de calor, y diseño adquiridos a lo largo de la carrera y verlos plasmados en la recuperación de los gases generados por el horno Hoffman para la etapa de secado.



## RECOMENDACIONES

Utilizar la zona creada para el almacenamiento del carbón mineral usado en la ladrillera Ocaña con el fin de disminuir el porcentaje de humedad del mismo, lo que beneficiará la etapa de secado y cocción de los bloques.

Se debe hacer la Instalación de una plataforma, que facilite la realización de los monitores isocinéticos de la chimenea del horno Hoffman y mejore las condiciones de seguridad de la operación.

Es importante para el buen funcionamiento del nuevo diseño cambiar las puertas existentes en los cuartos de secado que permita evitar las fugas de aire, las cuales son perjudiciales para que se cumpla con el proceso ideal de secado propuesto en este rediseño.

Se recomienda que el aire que se use para el secado de los materiales, sea aire seco o que contenga la menor cantidad de humedad, para que el proceso de secado sea el más óptimo, ya que este necesita recoger la mayor cantidad de agua evaporada de los materiales.

Es importante realizar un estudio más a fondo, de las sustancias que pueden llegar a contaminar todos los equipos que poseen lubricación, puesto que debido al ambiente que se puede generar aceleraría los tiempos de mantenimiento de estos, lo cual aumenta costos y disminuye la eficiencia del proceso.

## BIBLIOGRAFIA

CARRILLO CARVAJALINO, Daniel Alonso y SARAVIA MEJIA, Sergio Andrés. Análisis del sistema actual de secado de bloques en la empresa ladrillera Ocaña y propuesta de mejoramiento. Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. Ocaña N.S: Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingenierías. 2013.

CASTILLO RODRIGUEZ, José Luis. y Pinzón Mantilla, Edgar (2008). Análisis y rediseño del sistema de secado de tejas en la empresa arcillas del oriente Ltda. Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. San José Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingenierías. 2008.

CENGEL. Transferencia de calor y masa, 3ed.mexico, Mc Graw Hill, p460.

Criado, E. (2001). La industria cerámica en España. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 40(6), 413-428.

Mott, Robert L. Mecanica de Fluidos. 6 ed. Mexico DF : Pearson Educacion, 2006. pág. 267.

Universidad Pontífice Javeriana. Bogotá. (2004) Rediseño de los procesos productivos mediante la reconversión tecnológica para las pequeñas ladrilleras ubicadas en el parque minero industrial el mochuelo localidad de Ciudad Bolívar, utilizando la ladrillera “LUISBOR”.

## REFERENCIAS DOCUMENTALES ELECTRONICAS

ANTOLINEZ PALENCIA, Gerson Oswaldo y MURILLO ORTIZ, Leonardo (2012) Diseño de un túnel de secado para productos cerámicos elaborados en el tejar san Gerardo de la ciudad de Cúcuta. Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. San José Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingenierías

BIOMASA INDUSTRIA, IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). España. [En línea]. Actualizado en el 2008. [Citado el 15 de junio de 2013] Disponible en internet:

<[http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_10980\\_Biomasa\\_industria\\_A2008\\_A\\_402485e2.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10980_Biomasa_industria_A2008_A_402485e2.pdf)> p. 5 de 44.

CARACTERIZACIÓN DE LOS HORNOS USADOS EN LA INDUSTRIA ladrillera proyecto en Colombia. [En línea]. Actualizado en el 2011. [Citado el 25 de junio de 2013] Disponible en internet: <http://es.scribd.com/doc/129649608/740-Estudio-tecnologico>

CONDORI, Miguel y GEA, Marcelo. Universidad Nacional de Salta. Utilización directa de los gases de combustión de un horno de cocción en el secado de ladrillos cerámicos. [En línea], 2001[citado el 25 junio 2013]. [Argentina Salta]. Disponible en internet: <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2001/2001-t006-a008.pdf>

COLCIENCIAS, Ahorro de energía en la industria cerámica. Colombia. [En línea] Actualizado en 2007. [Citado el 5 de junio de 2013] Disponible en internet: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Procesos/ceramica.pdf>

GÓMEZ G, Carlos A. Universidad Nacional de Colombia. Modelamiento y simulación de un horno túnel industrial. [En línea], 2010. [Citado el 20 de junio 2013]. [Colombia Medellín]. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1882/1/71265369.2010.pdf>

GUIA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LADRIILLLLERAS ARTESANALLES. Perú. [En línea]. Actualizado en el 2010. [Citado el 25 de junio de 2013] Disponible en internet: <http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/2/jer/AMBIENTE/guia-de-buenas-practicas-ladrilleras-artesanales.pdf>

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Dirección general de electricidad. Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnósticos Energéticos. Industrias Ladrilleras en Perú, [En línea]. Actualizado en el 2008. [Citado el 06 de junio de 2013]. Disponible en Internet En: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Guia06%20Ladrillero.pdf>

MANTILLA PARRA, Silvia Lucia y ARDILA SANCHEZ, Lorenzo. (2011) propuesta de optimización energética de los hornos colmena de la empresa ladrillos y acabados s.a.s. Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. Bucaramanga Santander: Universidad

Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisico-mecánicas. Disponible en internet: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6045/2/142225.pdf>

NAVA M, René. Instituto Politécnico Nacional. Análisis teórico del secado de ladrillos en un horno continuo. Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. [En línea], 2002[citado el 20 junio 2013]. [México D.F]. Disponible en internet:<http://www.bibliosepi.esimez.ipn.mx/mecanica/2002/Analisis%20teorico%20de%20un%20horno%20continuo%20para%20el%20secado%20de%20ladrillos.pdf>

Programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de América Latina para mitigar el cambio climático, Nemocón – Colombia, [En línea]. Actualizado en el 2011. [Citado el 07 de junio de 2013] Disponible en internet: [http://www.corporacionambientalempresarial.org.co/documentos/740\\_Estudio\\_tecnologico.pdf](http://www.corporacionambientalempresarial.org.co/documentos/740_Estudio_tecnologico.pdf)

**SODECA.** SODECA. [En línea] 2014. [Citado el: 23 de Abril de 2014.] <http://www.sodeca.com/>.

TESTO.com, Análisis de gases de combustión en la Industria. Colombia. [En línea]. Actualizado en el 2007. [Citado el 10 de junio de 2013]. Disponible en internet: [http://www.testo.com/online/embedded/Sites/ARG/SharedDocuments/Downloads/Guia\\_emisiones.pdf](http://www.testo.com/online/embedded/Sites/ARG/SharedDocuments/Downloads/Guia_emisiones.pdf)

TOCTAQUIZA NARANJO, Olga Isabel, (2008) Optimización del Proceso de Cocción en la Producción de Ladrillos de Cerámica Roja en el Cantón Chambo. Trabajo de grado. Ingeniería química. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de ciencias. Disponible en internet: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/240/1/96T00107.pdf>

Tabla de coeficientes de pérdidas en accesorios (conductos de aire). [En línea] [Citado el: 20 de abril de 2014.] <http://www.emc.uji.es/asignatura/obtener.php?letra=9&codigo=29&fichero=1082540441929>.

**ANEXOS**

ANEXO A. Toma de datos

SECADERO: 1						ZONA: 1							
HORA	Horas secado	CONDICIONES				% Humedad material				% Contracción en secado			
		Q (m <sup>3</sup> /h)	T (°c)	Vel. (m/s)	% H.R	W.(i) (gr)	W.(f) (gr)	% H.M	% H.B	L.(i) (mm)	L.(f) (mm)	% V.C.S	% C.S
5:00pm													
<b>Promedio</b>	<b>0</b>								<b>18.50</b>				<b>0</b>
6:00pm			27.1	3.7	85	6155	6104.5	0.8205		317	309	2.5237	
						6196	6179	0.2744		317	316	0.3155	
						6235	6221	0.2245		314	313	0.3185	
<b>Promedio</b>	<b>1</b>		<b>27.1</b>	<b>3.7</b>	<b>85</b>			<b>0.4398</b>	<b>18.0602</b>			<b>1.0526</b>	<b>1.0526</b>
7:00pm			38.7	4.3	92	6104.5	6001.5	1.6873		309	304	1.6181	
						6179	6149.5	0.4774		316	314	0.6329	
						6221	6179	0.6751		313	313	0	
<b>Promedio</b>	<b>2</b>		<b>38.7</b>	<b>4.3</b>	<b>92</b>			<b>0.9466</b>	<b>17.1136</b>			<b>0.7503</b>	<b>1.8029</b>
8:00pm			47.9	3.45	96	6001.5	5883	1.9745		304	302	0.6579	
						6149.5	6109.5	0.6505		314	314	0	
						6179	6139	0.6474		313	313	0	

<b>Promedio</b>	<b>3</b>		47.9	3.45	96			1.0908	16.0228			0.2193	2.0222
9:00pm			55.9	4.6	85	5883	5752	2.2268		302	302	0	
						6109.5	6055.5	0.8839		314	309	1.5924	
						6139	6082.5	0.9203		313	309	1.2780	
<b>Promedio</b>	<b>4</b>		55.9	4.6	85			1.3437	14.6791			0.9568	2.9790
10:00pm			58	4.6	93	5752	5616	2.3644		302	301	0.3311	
						6055.5	5987.5	1.1229		309	306	0.9709	
						6082.5	6021	1.0111		309	307	0.6472	
<b>Promedio</b>	<b>5</b>		58	4.6	93			1.4995	13.1796			0.6497	3.6287
11:00pm			58.8	4.45	96	5616	5526.5	1.5937		301	298	0.9967	
						5987.5	5933.5	0.9019		306	305	0.3268	
						6021	5933	1.4616		307	305	0.6515	
<b>Promedio</b>	<b>6</b>		58.8	4.45	96			1.3191	11.8605			0.6583	4.2870
12:00pm			55.6	3.6	90	5526.5	5438	1.6014		298	297	0.3356	
						5933.5	5859	1.2556		305	304	0.3279	
						5933	5923.5	0.1601		305	304	0.3279	

<b>Promedio</b>	<b>7</b>		55.6	3.6	90			1.0057	10.8548			0.3305	4.6175
1:00am			60.7	4.45	97	5438	5373	1.1953		297	294	1.0101	
						5859	5777.5	1.3910		304	303	0.3289	
						5923.5	5884	0.6668		304	303	0.3289	
<b>Promedio</b>	<b>8</b>		60.7	4.45	97			1.0844	9.7704			0.5560	5.1735
2:00am			57.3	4.25	93	5373	5336.5	0.6793		297	297	0	
						5777.5	5659.5	2.0424		304	303	0.3289	
						5884	5802.5	1.3851		304	303	0.3289	
<b>Promedio</b>	<b>9</b>		57.3	4.25	93			1.3689	8.4015			0.2193	5.3928
3:00am			62.1	4.15	96	5336.5	5306	0.5715		297	297	0	
						5659.5	5568.5	1.6079		303	302	0.3300	
						5802.5	5709	1.6114		303	302	0.3300	
<b>Promedio</b>	<b>10</b>		62.1	4.15	96			1.2636	7.1379			0.2200	5.6128
4:00am			69.9	2.7	95	5306	5291.5	0.2733		297	296	0.3367	
						5568.5	5462	1.9125		302	301	0.3311	

						5709	5543	2.9077		302	302	0	
<b>Promedio</b>	<b>11</b>		<b>69.9</b>	<b>2.7</b>	<b>95</b>			<b>1.6978</b>	<b>5.4401</b>			<b>0.2226</b>	<b>5.8354</b>
5:00am			63.8	4.3	94	5291.5	5273	0.3496		296	296	0	
						5462	5414	0.8788		301	301	0	
						5543	5513.5	0.5322		302	301	0.3311	
<b>Promedio</b>	<b>12</b>		<b>63.8</b>	<b>4.3</b>	<b>94</b>			<b>0.5869</b>	<b>4.8532</b>			<b>0.1104</b>	<b>5.9458</b>
6:00am			62.8	3.2	98	5273	5272.5	0.0095		296	296	0	
						5414	5391	0.4248		301	301	0	
						5513.5	5498	0.2811		301	301	0	
<b>Promedio</b>	<b>14</b>		<b>62.8</b>	<b>3.2</b>	<b>98</b>			<b>0.2385</b>	<b>4.6147</b>			<b>0</b>	<b>5.9458</b>

**CUADRO1: Ensayo 1 de secado realizado en la planta física de la empresa.**



SECADERO: 1					ZONA: 2								
HORA	Horas secado	CONDICIONES			% Humedad material				% Contracción en secado				
		Q (m <sup>3</sup> /h)	T (°C)	Vel. (m/s)	% H.R	W.(i) (gr)	W.(f) (gr)	% H.M	% H.B	L.(i) (mm)	L.(f) (mm)	% V.C.S	% C.S
5:00pm													
<b>Promedio</b>	<b>0</b>							18.70					0
6:00pm			29.2		85	6159	6128	0.503		317	314	0.9464	
<b>Promedio</b>	<b>1</b>		29.2		85			0.503	18.196			0.9464	0.946
7:00pm			46.3		94	6128	6106	0.359		314	313	0.3185	
<b>Promedio</b>	<b>2</b>		46.3		94			0.359	17.837			0.3185	1.265
8:00pm			55.2		92	6106	6059.5	0.761		313	311	0.6390	
<b>Promedio</b>	<b>3</b>		55.2		92			0.761	17.076			0.6390	1.904
9:00pm			73.5		85	6059.5	6006	0.882		311	309	0.6431	
<b>Promedio</b>	<b>4</b>		73.5		85			0.882	16.193			0.6431	2.547
10:00pm			114.9		85	6006	5967	0.649		309	308	0.3236	
<b>Promedio</b>	<b>5</b>		114.9		85			0.649	15.543			0.3236	2.871
11:00pm			63.1		85	5967	5904	1.055		308	308	0.	
<b>Promedio</b>	<b>6</b>		63.1		85			1.055	14.488			0	2.871

12:00pm			90.1		90	5904	5847. 5	0.957		308	307	0.324 7	
<b>Promedio</b>	<b>7</b>		90.1		90			0.957	13.53 1			0.324 7	3.195
1:00am			82		90	5847. 5	5774	1.256		307	305	0.651 5	
<b>Promedio</b>	<b>8</b>		82		90			1.256	12.27 4			0.651 5	3.846
2:00am			88.2		85	5774	5724. 5	0.857		305	305	0	
<b>Promedio</b>	<b>9</b>		88.2		85			0.857	11.41 6			0	3.846
3:00am			80.8		85	5724. 5	5597	2.227		305	305	0	
<b>Promedio</b>	<b>10</b>		80.8		85			2.227	9.189			0	3.846
4:00am			94.1		85	5597	5501	1.715		305	304	0.327 9	
<b>Promedio</b>	<b>11</b>		94.1		85			1.715	7.474			0.327 9	4.174
5:00am			86.8		85	5501	5432	1.254		304	304	0	
<b>Promedio</b>	<b>12</b>		86.8		85			1.254	6.220			0	4.174
6:00am			87.2		85	5432	5390	0.773		304	304	0	
<b>Promedio</b>	<b>13</b>		87.2		85			0.773	5.446				4.174

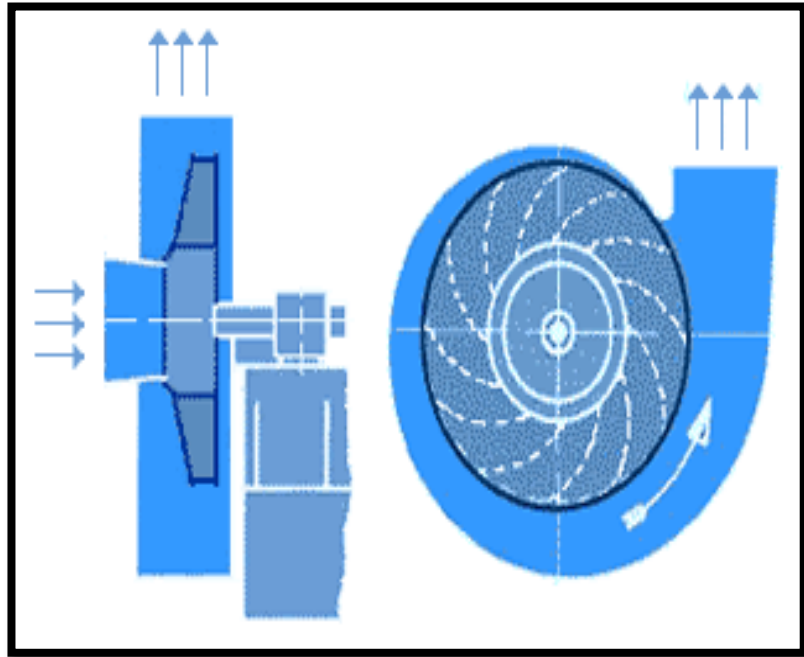
SECADERO: 1						ZONA: 3							
HORA	Horas secado	CONDICIONES				% Humedad material				% Contracción en secado			
		Q (m <sup>3</sup> /h)	T (°C)	Vel. (m/s)	% H. R	W.(i) (gr)	W.(f) (gr)	% H.M	% H.B	L.(i) (mm)	L.(f) (mm)	% V.C.S	% C.S
5:00pm													
<b>Promedio</b>	<b>0</b>								<b>17.50</b>				<b>0</b>
6:00pm			29.3	1.7	86	6154.5	6109	0.7393		318	316	0.6289	
						6132	6104	0.4566		314	311	0.9554	
						6209.5	6200	0.1530		317	316	0.3155	
<b>Promedio</b>	<b>1</b>		<b>29.3</b>	<b>1.7</b>	<b>86</b>			<b>0.4496</b>	<b>17.0504</b>			<b>0.6333</b>	<b>0.6333</b>
7:00pm			33.6	1.75	93	6109	6076	0.5402		316	313	0.9494	
						6104	6084	0.3277		311	309	0.6431	
						6200	6199.5	0.0081		316	315	0.3165	
<b>Promedio</b>	<b>2</b>		<b>33.6</b>	<b>1.75</b>	<b>93</b>			<b>0.2920</b>	<b>16.7584</b>			<b>0.6363</b>	<b>1.2666</b>
8:00pm			46.4	2.15	94	6076	6032	0.7242		313	312	0.3195	
						6084	6051.	0.534		309	308	0.323	

							5	2				6	
						6199. 5	6191. 5	0.129 0		315	314	0.317 5	
<b>Promedio</b>	<b>3</b>		<b>46.4</b>	<b>2.15</b>	<b>94</b>			<b>0.462 5</b>	<b>16.29 59</b>			<b>0.320 2</b>	<b>1.586 8</b>
9:00pm			52.9	1.1	89	6032	5956	1.259 9		312	309	0.961 5	
						6051. 5	6009	0.702 3		308	306	0.649 4	
						6191. 5	6176	0.250 3		314	313	0.318 5	
<b>Promedio</b>	<b>4</b>		<b>52.9</b>	<b>1.1</b>	<b>89</b>			<b>0.737 5</b>	<b>15.55 84</b>			<b>0.643 1</b>	<b>2.229 9</b>
10:00pm			93.8	1.5	91	5956	5889. 5	1.116 5		309	308	0.323 6	
						6009	5964. 5	0.740 6		306	306	0	
						6176	6156. 5	0.315 7		313	313	0	
<b>Promedio</b>	<b>5</b>		<b>93.8</b>	<b>1.5</b>	<b>91</b>			<b>0.724 3</b>	<b>14.83 41</b>			<b>0.107 9</b>	<b>2.337 8</b>
11:00pm			99.4	2.35	96	5889. 5	5834. 5	0.933 9		308	308	0	
						5964. 5	5926	0.645 5		306	305	0.326 8	
						6156. 5	6139	0.284 3		313	312	0.319 5	
<b>Promedio</b>	<b>6</b>		<b>99.4</b>	<b>2.35</b>	<b>96</b>			<b>0.621 2</b>	<b>14.21 29</b>			<b>0.215 4</b>	<b>2.553 2</b>

12:00pm			67	2.15	95	5834.5	5765	1.1912		308	305	0.9740	
						5926	5851.5	1.2572		305	304	0.3279	
						6139	6029	1.7918		312	309	0.9615	
<b>Promedio</b>	<b>7</b>		<b>67</b>	<b>2.15</b>	<b>95</b>			<b>1.4134</b>	<b>12.7995</b>			<b>0.7545</b>	<b>3.3077</b>
1:00am			50.5	1.65	94	5765	5695	1.2142		305	305	0	
						5851.5	5809.5	0.7178		304	303	0.3289	
						6029	5976	0.8791		309	308	0.3236	
<b>Promedio</b>	<b>8</b>		<b>50.5</b>	<b>1.65</b>	<b>94</b>			<b>0.9370</b>	<b>11.8625</b>			<b>0.2175</b>	<b>3.5252</b>
2:00am			51.6	1.9	93	5695	5630	1.1414		305	303	0.6557	
						5809.5	5762	0.8176		303	303	0	
						5976	5827.5	2.4849		308	305	0.9740	
<b>Promedio</b>	<b>9</b>		<b>51.6</b>	<b>1.9</b>	<b>93</b>			<b>1.4813</b>	<b>10.3812</b>			<b>0.5432</b>	<b>4.0684</b>
3:00am			69.3	2.2	94	5630	5539	1.6163		303	303	0	
						5762	5658	1.8049		303	302	0.3300	
						5827.	5788	0.677		305	304	0.327	

						5		8				9	
<b>Promedio</b>	10		69.3	2.2	94			1.366 3	9.014 9			0.219 3	4.287 7
4:00am			70.1	2.45	91	5539	5509	0.541 6		303	303	0	
						5658	5621	0.653 9		302	302	0	
						5788	5751	0.639 3		304	303	0.328 9	
<b>Promedio</b>	11		70.1	2.45	91			0.611 6	8.403 3			0.109 6	4.397 3
5:00am			70.9	2.35	95	5509	5468	0.744 2		303	303	0	
						5621	5529. 5	1.627 8		302	302	0	
						5751	5594. 5	2.721 3		303	302	0.330 0	
	12		70.9	2.35	95			1.697 8	6.705 5			0.110 0	4.507 3
6:00am			63.8	3.2	97	5468	5447	0.384 1		303	302	0.330 0	
						5529. 5	5498	0.569 7		302	302	0	
						5594. 5	5554	0.723 9		302	302	0	
<b>Promedio</b>	13		63.8	3.2	97			0.559 2	6.146 3			0.110 0	4.617 3

ANEXO B. Ventilador centrifugo.



ANEXO C. Tabla agua saturada

TABLA A-9													
Propiedades del agua saturada													
Temp., T °C	Presión de saturación, P <sub>sat</sub> kPa	Densidad, ρ kg/m <sup>3</sup>		Entalpia de vaporización, h <sub>g</sub> kJ/kg	Calor específico, C <sub>p</sub> J/kg · °C		Conductividad térmica, k W/m · °C		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 <sup>-3</sup>	0.922 × 10 <sup>-5</sup>	13.5	1.00	-0.068 × 10 <sup>-3</sup>
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 <sup>-3</sup>	0.934 × 10 <sup>-5</sup>	11.2	1.00	0.015 × 10 <sup>-3</sup>
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 <sup>-3</sup>	0.946 × 10 <sup>-5</sup>	9.45	1.00	0.733 × 10 <sup>-3</sup>
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 186	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 <sup>-3</sup>	0.959 × 10 <sup>-5</sup>	8.09	1.00	0.138 × 10 <sup>-3</sup>
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 <sup>-3</sup>	0.973 × 10 <sup>-5</sup>	7.01	1.00	0.195 × 10 <sup>-3</sup>
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 <sup>-3</sup>	0.987 × 10 <sup>-5</sup>	6.14	1.00	0.247 × 10 <sup>-3</sup>
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 <sup>-3</sup>	1.001 × 10 <sup>-5</sup>	5.42	1.00	0.294 × 10 <sup>-3</sup>
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 <sup>-3</sup>	1.016 × 10 <sup>-5</sup>	4.83	1.00	0.337 × 10 <sup>-3</sup>
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 <sup>-3</sup>	1.031 × 10 <sup>-5</sup>	4.32	1.00	0.377 × 10 <sup>-3</sup>
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 <sup>-3</sup>	1.046 × 10 <sup>-5</sup>	3.91	1.00	0.415 × 10 <sup>-3</sup>
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 <sup>-3</sup>	1.062 × 10 <sup>-5</sup>	3.55	1.00	0.451 × 10 <sup>-3</sup>
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 <sup>-3</sup>	1.077 × 10 <sup>-5</sup>	3.25	1.00	0.484 × 10 <sup>-3</sup>
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 <sup>-3</sup>	1.093 × 10 <sup>-5</sup>	2.99	1.00	0.517 × 10 <sup>-3</sup>
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 <sup>-3</sup>	1.110 × 10 <sup>-5</sup>	2.75	1.00	0.548 × 10 <sup>-3</sup>
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 <sup>-3</sup>	1.126 × 10 <sup>-5</sup>	2.55	1.00	0.578 × 10 <sup>-3</sup>
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 <sup>-3</sup>	1.142 × 10 <sup>-5</sup>	2.38	1.00	0.607 × 10 <sup>-3</sup>
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 <sup>-3</sup>	1.159 × 10 <sup>-5</sup>	2.22	1.00	0.653 × 10 <sup>-3</sup>
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 <sup>-3</sup>	1.176 × 10 <sup>-5</sup>	2.08	1.00	0.670 × 10 <sup>-3</sup>
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 <sup>-3</sup>	1.193 × 10 <sup>-5</sup>	1.96	1.00	0.702 × 10 <sup>-3</sup>
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 <sup>-3</sup>	1.210 × 10 <sup>-5</sup>	1.85	1.00	0.716 × 10 <sup>-3</sup>
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 <sup>-3</sup>	1.227 × 10 <sup>-5</sup>	1.75	1.00	0.750 × 10 <sup>-3</sup>
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 <sup>-3</sup>	1.261 × 10 <sup>-5</sup>	1.58	1.00	0.798 × 10 <sup>-3</sup>
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 <sup>-3</sup>	1.296 × 10 <sup>-5</sup>	1.44	1.00	0.858 × 10 <sup>-3</sup>
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 <sup>-3</sup>	1.330 × 10 <sup>-5</sup>	1.33	1.01	0.913 × 10 <sup>-3</sup>
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 <sup>-3</sup>	1.365 × 10 <sup>-5</sup>	1.24	1.02	0.970 × 10 <sup>-3</sup>
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 <sup>-3</sup>	1.399 × 10 <sup>-5</sup>	1.16	1.02	1.025 × 10 <sup>-3</sup>
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 <sup>-3</sup>	1.434 × 10 <sup>-5</sup>	1.09	1.05	1.145 × 10 <sup>-3</sup>
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 <sup>-3</sup>	1.468 × 10 <sup>-5</sup>	1.03	1.05	1.178 × 10 <sup>-3</sup>
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 <sup>-3</sup>	1.502 × 10 <sup>-5</sup>	0.983	1.07	1.210 × 10 <sup>-3</sup>
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 <sup>-3</sup>	1.537 × 10 <sup>-5</sup>	0.947	1.09	1.280 × 10 <sup>-3</sup>
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 <sup>-3</sup>	1.571 × 10 <sup>-5</sup>	0.910	1.11	1.350 × 10 <sup>-3</sup>
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 <sup>-3</sup>	1.641 × 10 <sup>-5</sup>	0.865	1.15	1.520 × 10 <sup>-3</sup>
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 <sup>-3</sup>	1.712 × 10 <sup>-5</sup>	0.836	1.24	1.720 × 10 <sup>-3</sup>
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 <sup>-3</sup>	1.788 × 10 <sup>-5</sup>	0.832	1.35	2.000 × 10 <sup>-3</sup>
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 <sup>-3</sup>	1.870 × 10 <sup>-5</sup>	0.854	1.49	2.380 × 10 <sup>-3</sup>
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 <sup>-3</sup>	1.965 × 10 <sup>-5</sup>	0.902	1.69	2.950 × 10 <sup>-3</sup>
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 <sup>-3</sup>	2.084 × 10 <sup>-5</sup>	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 <sup>-3</sup>	2.255 × 10 <sup>-5</sup>	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 <sup>-3</sup>	2.571 × 10 <sup>-5</sup>	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	∞	∞	∞	∞	0.043 × 10 <sup>-3</sup>	4.313 × 10 <sup>-5</sup>	—	—	—

Nota 1: La viscosidad cinemática  $\nu$  y la difusividad térmica  $\alpha$  se pueden calcular a partir de sus definiciones,  $\nu = \mu/\rho$  y  $\alpha = k/\rho C_p = \nu/Pr$ . Las temperaturas de 0.01°C, 100°C y 374.14°C son las temperaturas de los puntos triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades cuya lista se da arriba (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C, para el calor específico, es equivalente a kJ/kg · K y la unidad W/m · °C, para la conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

Fuente: Los datos de la viscosidad y la conductividad térmica se tomaron de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), págs. 291-1322. Los otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.



ANEXO D. Interpolación para encontrar la entalpia de dos.


$T_2 = 71.83 \text{ }^\circ\text{C}$	
<b>T (<math>^\circ\text{C}</math>)</b>	<b><math>h_{fg}</math> (kJ/ kg)</b>
70	2320.6
71.8	$h_2$
75	2320.6
$h_2 = 2328.4 \text{ kJ/ kg}$	

ANEXO E. Interpolación para encontrar la energía interna.

Para la temperatura del agua se toma la temperatura de la arcilla:  $T_2 = 28^\circ\text{C}$ , realizando la interpolación se tiene:

<b>T (<math>^\circ\text{C}</math>)</b>	<b><math>u_f</math> (kJ/kg)</b>
25	104,83
28	$u_1$
30	125,73
$U_2 = 117,37\text{kJ/ kg}$	



## ANEXO F. Extractor centrífugo de la serie **TCMP-1025-4T-2-F-400**



INFORME TÉCNICO DE DATOS  
03/05/2024

### TCMP-1231-4T-5.5-F-400

**Extractores centrífugos y unidades de extracción 400°C/2h, con turbina multipala**  
**TCMP:** Extractores centrífugos 400°C/2h, para trabajar en el exterior de la zona de riesgo de incendios, de simple aspiración

**CJMP:** Unidades de extracción 400°C/2h con caja aislada acústicamente, para trabajar en el exterior de la zona de riesgo de incendios, de simple aspiración

**Ventilador:**

- Envoltorio en chapa de acero
- Turbina con álabes hacia delante, en chapa de acero galvanizado
- Homologación según norma EN-12101-3-2002, con certificación NR: 0070-CPD-0033 (TCMP), NR: 0070-CPD-0402 (CJMP)

**Motor:**


- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55
- Trifásicos 230/400V-50Hz (hasta 5,5CV.) y 400/690V-50Hz (potencias superiores a 5,5CV.)
- Temperatura máxima del aire a transportar: Servicio S1 -20°C+ 300°C en continuo, Servicio S2 200°C/2h, 300°C/2h y 400°C/2h

**Acabado:**

- Anticorrosivo en resina de poliéster, polimerizada a 130°C., previo desengrase alcalino y pretratamiento libre de fosfatos
- CJMP: Anticorrosivo en chapa de acero galvanizado

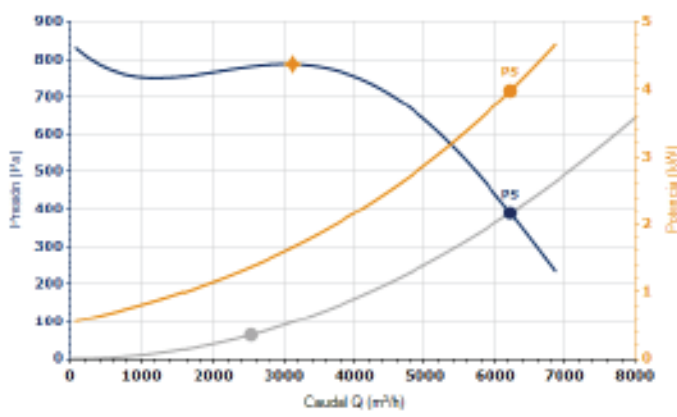
**Bajo demanda:**

- Extractores con motor de 2 velocidades
- Extractores a transmisión



**CURVA CARACTERÍSTICA Y ACÚSTICA PARA 1.2KG/M<sup>3</sup>**



**Punto de Diseño**

Q (m³/h)	2520
Pe (Pa)	64



**Punto de Servicio (PS)**

Q (m³/h)	6229.41
Pe (Pa)	389.83
Pd (Pa)	437.20
Pt (Pa)	827.03
Velocidad (rpm)	1440
Mín. Temp. (°C)	300
Velocidad Aire (m/s)	26.99
Potencia (kW) *	3.96

(\*) Potencia eléctrica

www.sodeca.com

v1.2.0.0

Los datos de este informe pueden cambiar sin previo aviso

1/3

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

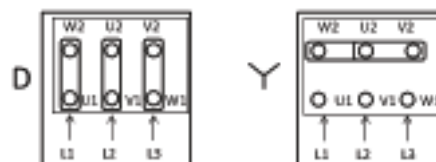
Caudal máximo (m³/h)	6050
Velocidad (rpm)	1440
Peso aprox. (kg)	55

+ Máx. Eficiencia	Actual	ErP 2013	ErP 2015
Rendimiento	41.3%	28.3%	36.8%
Grado eficiencia II	46.2	33.3	41.8
Categoría de medición	A		
Categoría eficiencia	Estático		
Relación específica	1.01		
Caudal (m³/h)	3320		
Presión (Pa)	787.38		
Potencia eléctrica (kW)	1.65		
Velocidad (rpm)	1478		
Variador de velocidad	VSD no necesario		

Datos establecidos en el punto de máxima eficiencia

### DATOS DEL MOTOR

Potencia instalada (kW)	4
Hz/fases	50/3
Motor (rpm)	1440
Polos	4
Corriente máx. (A) 400 V Y	8.12
Corriente máx. (A) 230 V D	34.1
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	112M



Los datos pueden cambiar, por favor consulte la placa del motor

### ACCESORIOS DISPONIBLES



Se debe comprobar que el accesorio es adecuado para el modelo de ventilador

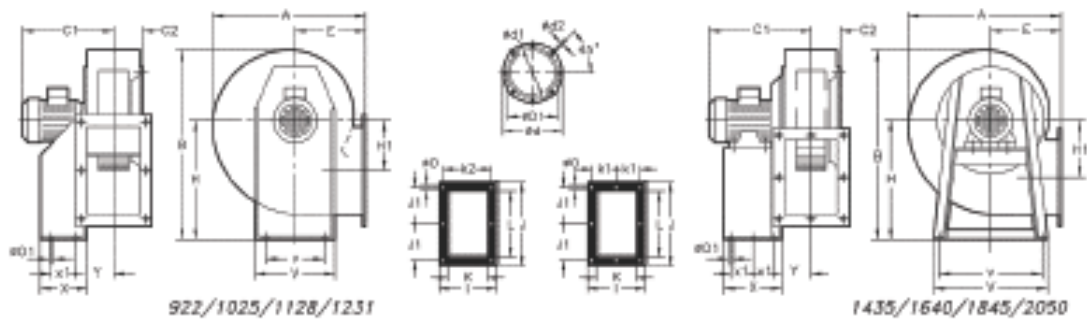
## DIMENSIONES

A	B	C1	C2	ØD1* [1]	Ød	Ød1	Ød2	E	H	H1	I	J	J1
526	630	463	103.5	315	382	354	M.8	230	380	179.5	264	302.5	180

K	k2	L	ØO	ØO1	V	v	X	x1	Y
200	240	320	11.5	13	382	322	183	140	126

[1] Diámetro nominal tubería recomendada

Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm)



## ANEXO G. Ventilador helicoidal tubular bifurcado.



INFORME TÉCNICO DE DATOS  
03/05/2014

### HBA-40-2T-1.5



Ventiladores helicoidales tubulares bifurcados, con motor fuera del flujo de aire  
Ventiladores tubulares bifurcados para trasegar aire hasta 150°C en continuo y hasta 200°C de forma esporádica.

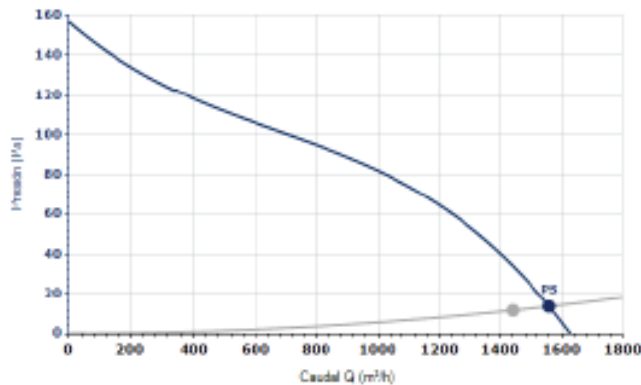
**Ventilador:**  
- Envoltorio tubular en chapa de acero  
- Hélices en fundición de aluminio  
- Dirección de aire hélice-motor

**Motor:**  
- Motores eficiencia IE-2, excepto potencias inferiores a 0.75 Kw, monofásicos y 2 velocidades.  
- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP-55  
- Trifásicos 230/400V-50Hz (hasta 5.5CV) y 400/690V-50Hz (potencias superiores a 5.5 CV)  
- Temperatura de trabajo: -25°C + 150°C

**Acabado:**  
- Anticorrosivo con pintura anti calorífica para trabajar en ambientes de temperatura.

**Bajo demanda:**  
- Envoltorio en acero inoxidable  
- Acabado en galvanizado en caliente  
- Bobinados especiales para diferentes tensiones y motores con PTC

#### CURVA CARACTERÍSTICA Y ACÚSTICA PARA 1.2KG/M<sup>3</sup>



#### Punto de Diseño

Q (m <sup>3</sup> /h)	1440
Pe (Pa)	31.70

#### Punto de Servicio (PS)

Q (m <sup>3</sup> /h)	1559.10
Pe (Pa)	33.71
Pd (Pa)	6.46
Pt (Pa)	20.17
Velocidad (rpm)	2860
Máx. Temp. (°C)	150
Velocidad Aire (m/s)	3.2609

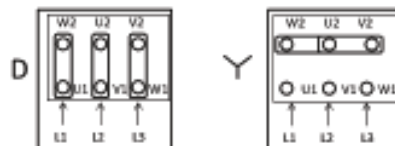
#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	1627.72
Velocidad (rpm)	2860
Peso aprox. (kg)	45

#### DATOS DEL MOTOR

Potencia instalada (kW)	1.10
Hz/fases	50/3
Motor (rpm)	2860
Polos	2
Corriente máx. (A) 400 V Y	2.4
Corriente máx. (A) 230 V D	4.2
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	80

Los datos pueden cambiar, por favor consulte la placa del motor



### ACCESORIOS DISPONIBLES



Se debe comprobar que el accesorio es adecuado para el modelo de ventilador

### DIMENSIONES

ØA	ØB	ØD	E	ØU	M	N
480	400	430	580	12	8x15"	22"Ø"

Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm)

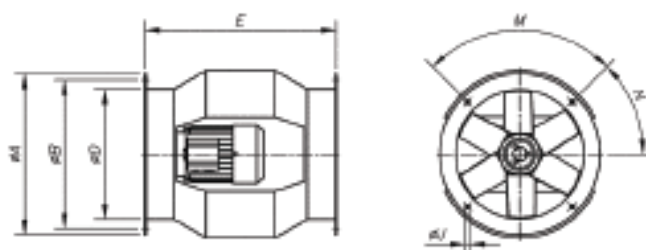


FIGURA 10.4 Expansión gradual.

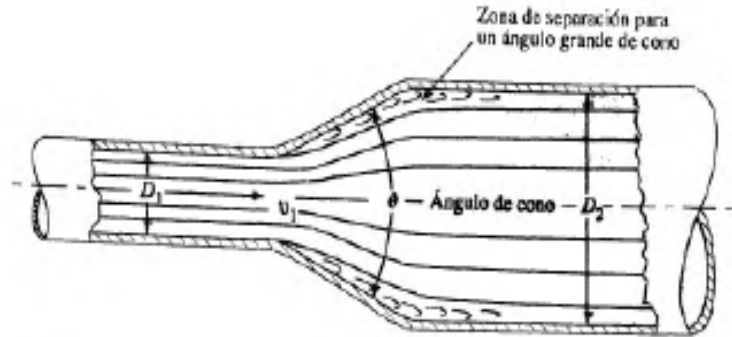
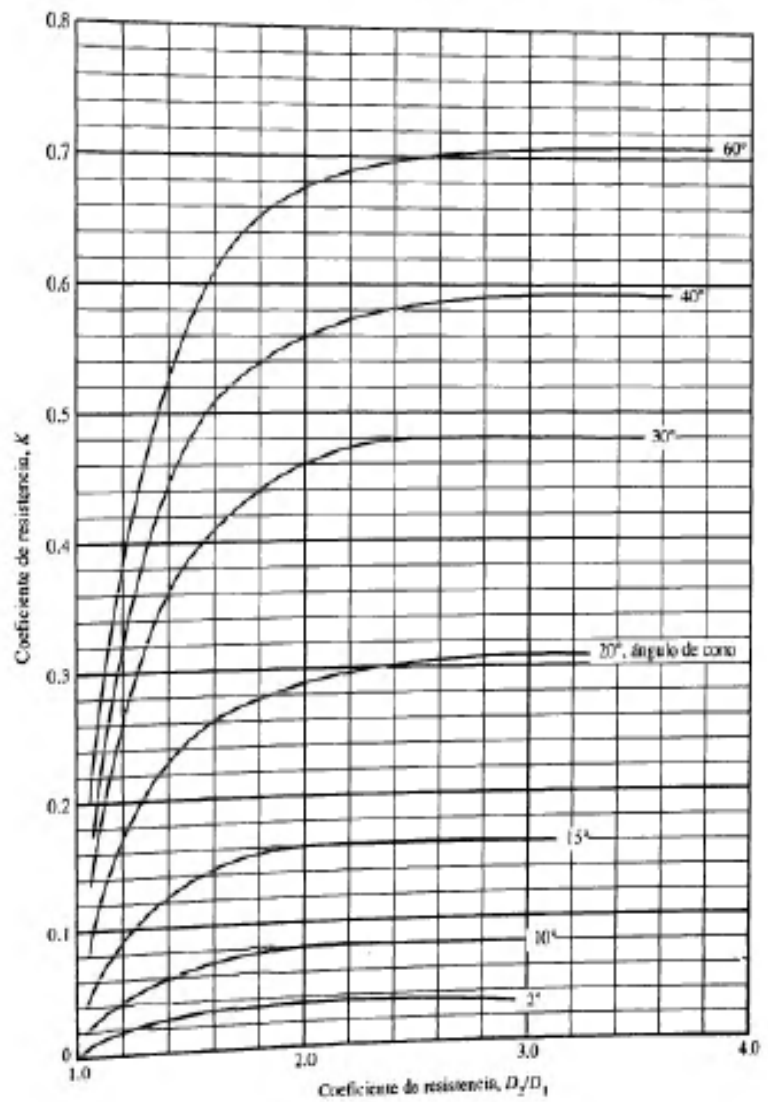
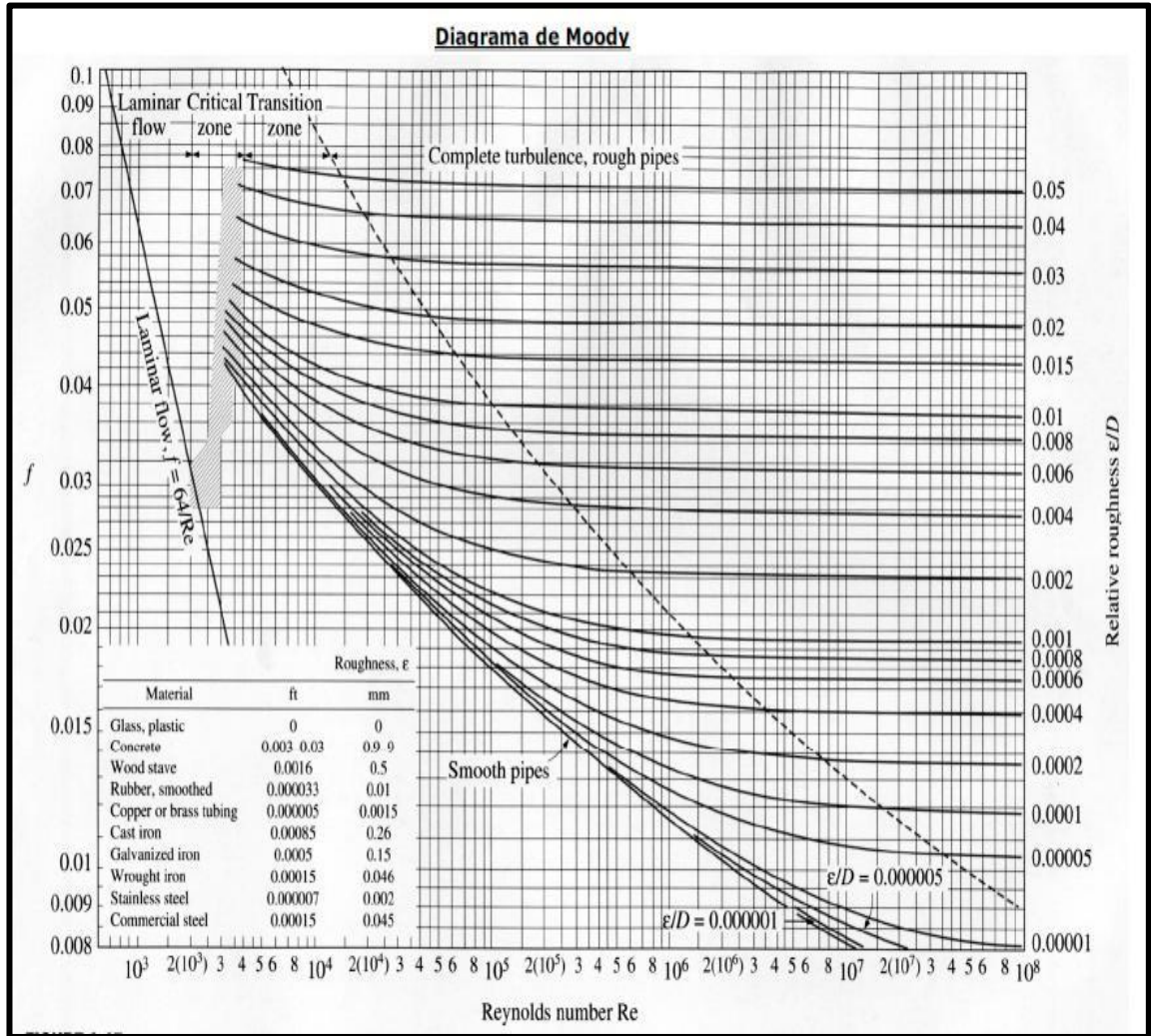


FIGURA 10.5 Coeficiente de resistencia-expansión gradual.




ANEXO I. Diagrama de MOODY.






## ANEXO J. Extractor axial de la serie HTP-56-2T-10-26°



INFORME TÉCNICO DE DATOS

### HTP-56-2T-10-26°



**Extractores axiales tubulares de alta presión**  
 Extractores axiales tubulares de alta presión y gran robustez, especialmente diseñados para instalaciones de minería o aplicaciones con grandes pérdidas de carga

**Ventilador:**

- Envoltente tubular en chapa de acero de gran espesor
- Soporte de motor soldado al envoltente.
- Directrices de alto rendimiento aerodinámico para ganancia de presión
- Óptima protección superficial mediante acero de alta calidad.
- Hélice de alto rendimiento, construida en fundición de aluminio
- Sentido de aire hélice-motor
- Conexión eléctrica en caja de bornes externa.

**Motor:**

- Motores eficiencia IE-2, excepto potencias inferiores a 0,75 Kw, monofásicos y 2 velocidades.
- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP-55
- Trifásicos 230/400V-50Hz (hasta 5,5CV) y 400/690V-50Hz (potencias superiores a 5,5CV)
- Temperatura de trabajo -30°C + 70°C

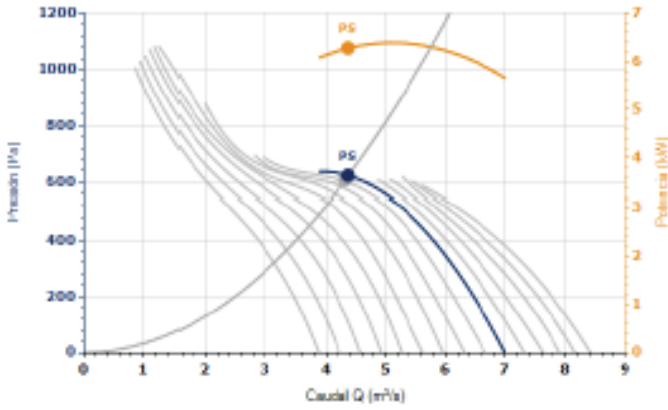
**Acabado:**

- Acero de alta protección anticorrosivo, imprimación especial y pintura de alta calidad para ambientes corrosivos.

**Bajo demanda:**

- Motores normalizados IP-55, motores ATEX y de 2 Velocidades
- Hélice en acero inoxidable o hierro
- Construcción total en acero inoxidable
- Construcción en acero galvanizado en caliente

#### CURVA CARACTERÍSTICA Y ACÚSTICA PARA 1.2KG/M<sup>3</sup>



Acústica: Operación (PS), Aspiración, 1,50 (m), 1 plano

dB(A)

**Punto de Diseño**

Q (m³/s)	4.32
Pe (Pa)	606



**Punto de Servicio (PS)**

Q (m³/s)	4.3773
Pe (Pa)	624.22
Pd (Pa)	196.51
Pt (Pa)	810.73
Velocidad (rpm)	2670
Inclinación Pala (°)	26
Mín. Temp. (°C)	70
Velocidad Aire (m/s)	17.63
Rendimiento (%)	96.05
Potencia Absorbida (kW)	6.28
*	
Potencia Recomendada (kW) *	7.50
Potencia Seleccionada (kW) *	7.50

(\*) Potencia mecánica

Banda
Lw dB(A)
Lp dB(A)

www.sodeca.com

v1.2.0.0

Los datos de este informe pueden cambiar sin previo aviso

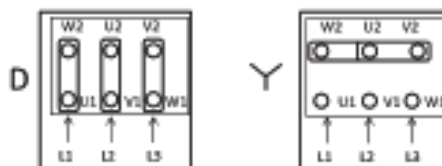
1/2

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Caudal máximo (m³/s)	6.99
Velocidad (rpm)	2870
Peso aprox. (kg)	70

**DATOS DEL MOTOR**

Potencia instalada (kW)	7.50
Hz/tiempo	50/3
Motor (rpm)	2870
Polos	2
Corriente máx. (A) 400 V D	34.5
Corriente máx. (A) 690 V Y	8.61
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	112M



Los datos pueden cambiar, por favor consulte la placa del motor

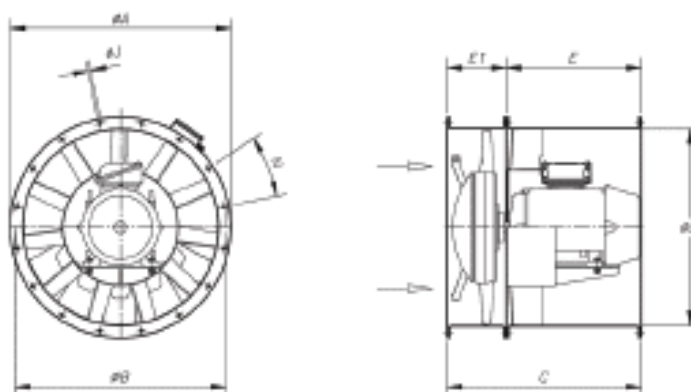
**ACCESORIOS DISPONIBLES**


Se debe comprobar que el accesorio es adecuado para el modelo de ventilador

**DIMENSIONES**

ØA	ØB	ØD	C	ØJ	N
660	620	560	500	12	12xØ8

Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm)



ANEXO K. Tabla propiedades del aire A 1 ATM

TABLA A-15							
Propiedades del aire a la presión de 1 atm							
Temp., °C	Densidad, $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $C_p$ , J/kg·°C	Conductividad térmica, $k$ , W/m·°C	Difusividad térmica, $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s	Viscosidad dinámica, $\mu$ , kg/m·s	Viscosidad cinemática, $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl, Pr
150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-5}$	$8.636 \times 10^{-4}$	$3.013 \times 10^{-5}$	0.7246
100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-5}$	$1.189 \times 10^{-3}$	$5.837 \times 10^{-5}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-4}$	$1.474 \times 10^{-3}$	$9.319 \times 10^{-5}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-4}$	$1.527 \times 10^{-3}$	$1.008 \times 10^{-4}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-4}$	$1.579 \times 10^{-3}$	$1.087 \times 10^{-4}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-4}$	$1.630 \times 10^{-3}$	$1.169 \times 10^{-4}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-4}$	$1.680 \times 10^{-3}$	$1.252 \times 10^{-4}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-4}$	$1.729 \times 10^{-3}$	$1.338 \times 10^{-4}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-4}$	$1.754 \times 10^{-3}$	$1.382 \times 10^{-4}$	0.7360
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-4}$	$1.778 \times 10^{-3}$	$1.426 \times 10^{-4}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-4}$	$1.802 \times 10^{-3}$	$1.470 \times 10^{-4}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-4}$	$1.825 \times 10^{-3}$	$1.516 \times 10^{-4}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-4}$	$1.849 \times 10^{-3}$	$1.562 \times 10^{-4}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-4}$	$1.872 \times 10^{-3}$	$1.608 \times 10^{-4}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-4}$	$1.895 \times 10^{-3}$	$1.655 \times 10^{-4}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-4}$	$1.918 \times 10^{-3}$	$1.702 \times 10^{-4}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-4}$	$1.941 \times 10^{-3}$	$1.750 \times 10^{-4}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-4}$	$1.963 \times 10^{-3}$	$1.798 \times 10^{-4}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-4}$	$2.008 \times 10^{-3}$	$1.896 \times 10^{-4}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-4}$	$2.052 \times 10^{-3}$	$1.995 \times 10^{-4}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-4}$	$2.096 \times 10^{-3}$	$2.097 \times 10^{-4}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-4}$	$2.139 \times 10^{-3}$	$2.201 \times 10^{-4}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-4}$	$2.181 \times 10^{-3}$	$2.306 \times 10^{-4}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-4}$	$2.264 \times 10^{-3}$	$2.522 \times 10^{-4}$	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-4}$	$2.345 \times 10^{-3}$	$2.745 \times 10^{-4}$	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	$4.241 \times 10^{-4}$	$2.420 \times 10^{-3}$	$2.975 \times 10^{-4}$	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-4}$	$2.504 \times 10^{-3}$	$3.212 \times 10^{-4}$	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-4}$	$2.577 \times 10^{-3}$	$3.455 \times 10^{-4}$	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	$5.890 \times 10^{-4}$	$2.760 \times 10^{-3}$	$4.091 \times 10^{-4}$	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	$6.871 \times 10^{-4}$	$2.934 \times 10^{-3}$	$4.765 \times 10^{-4}$	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	$7.892 \times 10^{-4}$	$3.101 \times 10^{-3}$	$5.475 \times 10^{-4}$	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	$8.951 \times 10^{-4}$	$3.261 \times 10^{-3}$	$6.219 \times 10^{-4}$	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	$1.004 \times 10^{-3}$	$3.415 \times 10^{-3}$	$6.997 \times 10^{-4}$	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	$1.117 \times 10^{-3}$	$3.563 \times 10^{-3}$	$7.805 \times 10^{-4}$	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	$1.352 \times 10^{-3}$	$3.846 \times 10^{-3}$	$9.515 \times 10^{-4}$	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	$1.598 \times 10^{-3}$	$4.111 \times 10^{-3}$	$1.133 \times 10^{-3}$	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	$1.855 \times 10^{-3}$	$4.362 \times 10^{-3}$	$1.326 \times 10^{-3}$	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	$2.122 \times 10^{-3}$	$4.600 \times 10^{-3}$	$1.529 \times 10^{-3}$	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	$2.398 \times 10^{-3}$	$4.826 \times 10^{-3}$	$1.741 \times 10^{-3}$	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	$3.908 \times 10^{-3}$	$5.817 \times 10^{-3}$	$2.922 \times 10^{-3}$	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	$5.664 \times 10^{-3}$	$6.630 \times 10^{-3}$	$4.270 \times 10^{-3}$	0.7539

ANEXO L. Plano del montaje.

