 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Estudio de factibilidad técnico para la recuperación de calor en Industrias EMU S.A.

JUAN FERNANDO RAMÍREZ CORREA

Ingeniería Electromecánica

Directores:

Carlos Mario Londoño Parra, Mag.

Carlos Alberto Acevedo Alvarez, IM.

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Faculta de ingenierías

Medellín

2019

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

El objetivo de este informe de prácticas es realizar el estudio de viabilidad técnico-económica de la implementación de la recuperación de calor entre dos Hornos en Industrias EMU S.A. Esto debido a la necesidad de la reducción de estas pérdidas y aprovechar las altas temperaturas que generan estos; incrementando la eficiencia energética de ellos al igual que reduciendo costos y el impacto ambiental que generan estos gases residuales debido a la combustión de combustibles fósiles. En este documento se expone la necesidad de las nuevas tecnologías en recuperación de calor, para luego encontrar la manera significativa de aprovechar los gases residuales en Industrias EMU. S.A.

Palabras Claves: Recuperación de calor, Gases residuales, Combustión, variables termodinámicas, hornos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Quisiera agradecer inmensamente el apoyo de mis padres, los cuales tuvieron un acompañamiento constante y un apoyo incondicional. A mi familia por su interés en mi estudio y crecimiento personal, a mi director de practica Carlos Mario Londoño por el apoyo brindado y el tiempo invertido, a los docentes Carlos Acevedo y María Vilma García quienes se interesaron por ayudarme a terminar este trabajo y querer compartir conmigo su conocimiento y formarme como una mejor persona a nivel personal tanto como profesional.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	7
1.1	OBJETIVOS.....	8
1.1.1	General	8
1.1.2	Específicos.....	8
2.	MARCO TEÓRICO	9
2.1	TIPOS DE HORNOS	10
2.2	PROCESO DE COMBUSTIÓN	14
2.3	TECNOLOGÍAS EN RECUPERACIÓN DE CALOR	14
3.	METODOLOGÍA	17
3.1	CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	18
3.2	CÁLCULO DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE CALOR DEL CALOR RECUPERADO	29
3.3	VARIABLES TERMODINÁMICAS DE LOS HORNOS	30
3.4	FACTIBILIDAD TÉCNICA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	37
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	43
6.	REFERENCIAS	44

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Horno de cubilotes	10
Figura 2. Hornos de crisol móvil y horno de crisol fijo.	11
Figura 3. Horno de reverbero	12
Figura 4. Horno rotativo	12
Figura 5. Horno crisol detallado	13
Figura 6. Horno de sublimación.....	19
Figura 7. Horno de calcinación	21
Figura 8. Quemador Horno de calcinación.....	22
Figura 9. Plano de la planta donde se centrara el proyecto.....	30
Figura 10. Plano de la tubería para la conducción de calor entre los hornos.....	33
Figura 11. Plano detallado de la tubería para la conducción de calor entre los hornos.....	34
Figura 12. Cañuela aislante para tuberías.	35
Figura 13. Manta cerámica	36
Figura 14. Consumo Anual del quemador horno calcinación	37
Figura 17. Plano de la tubería con sus especificaciones correspondientes	40
Figura 18. Plano de tubería con recubrimiento térmico.	41

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características principales del horno de sublimación	18
Tabla 2. Características principales horno calcinador	20
Tabla 3. Características principales quemador horno calcinador	21
Tabla 4. Datos técnicos cámara termografica	22
Tabla 5. Datos técnicos pirómetro FLUKE 568	23
Tabla 6. Datos técnicos CEM DT-171.....	23
Tabla 7. . Datos técnicos Bacharach PCA3.....	23
Tabla 8. Registro de temperaturas del horno calcinador.....	24
Tabla 9. Datos técnicos Pirómetro PCE-889B.....	25
Tabla 10. Datos técnicos termómetro digital (UNI-T UT325).....	26
Tabla 11. . Datos técnicos de las sondas para Anemómetro (Altas Temperaturas) Serie 6162).....	27
Tabla 12 . Especificaciones Técnicas de la temperatura de Acero al Carbón.	32
Tabla 13. Especificaciones Técnicas del Aislante.....	35
Tabla 14. Especificaciones manta cerámica.	36
Tabla 15. Cotización de la tubería.	38
Tabla 16. Cotización del Aislante.	38
Tabla 17. Cotización del Montaje	39
Tabla 18. Inversión del proyecto.	42

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

En industrias EMU S.A existe la necesidad de recuperar el calor de los gases de salida en uno de los hornos para aprovecharlos en un proceso de calcinación. Ello permitirá incrementar la eficiencia energética del horno de calcinación y reducir los costos energéticos.

Se presenta este trabajo con el fin de analizar la entrada de los gases residuales del horno de sublimación al sistema del horno calcinador. Por lo cual es necesario estudiar los diferentes componentes que actúan en ellos y se necesitan para el desarrollo del proyecto. Partimos de algunas mediciones tomadas por la Universidad de Antioquía junto a *incombustión* en el 2016 en Industrias EMU S.A, los cuales realizaron un estudio detallado de estos equipos, adquiriendo algunas variables las cuales nos servirán para dar inicio al proyecto, en cuanto a otras variables necesarias recurrimos a la medición y cálculos para determinar estas variables, ya que son fundamentales en el desarrollo del estudio. Principalmente nos enfocaremos en evaluar las posibles condiciones en las cuales entrarían estos gases, los métodos y elementos por los cuales se conducen y/o se transfieren estos al sistema, definiendo así la viabilidad del proyecto bajo la figura del estudio de factibilidad.

Gracias a las nuevas tecnologías en recuperación de calor se pueden analizar la manera más conveniente de transportar los gases residuales del horno de sublimación al horno calcinador, determinando los costos de este proyecto, obteniendo un ahorro significativo del 40.8% en el consumo de combustible y seleccionando los materiales adecuados para obtener las menores pérdidas posibles en el sistema.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 General

- Elaborar un estudio de factibilidad técnico para recuperación de calor de los gases entre dos hornos de industrias EMU S.A.

1.1.2 Específicos

- Analizar estudios o documentos que den cuenta de las condiciones de operación de los equipos.
- Evaluar las variables termodinámicas que intervienen en la recuperación de calor de los hornos.
- Determinar la factibilidad técnica de la recuperación de calor.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Industrias EMU S.A. inicia actividades en la ciudad de Medellín en el año de 1977 incursionando en la fabricación de productos químicos para la industria y el sector agro-industrial, siendo su primer producto el fosfato trisódico; tres años después se incorpora el sulfato de zinc, producto líder que ha identificado nuestra organización en el mercado a través de los años.

Ya en el año 2008 se inicia investigación y desarrollo, para la producción de fuentes de Fósforo, iniciativa que se convierte en una realidad en el año 2010, se comienza de igual manera la comercialización y producción de Sulfato de Manganeso y Magnesio.

Para el año 2012 se proyecta la ampliación de la planta de producción en el municipio de Soledad, Atlántico y la consecución de la Certificación ISO 14000, al Medio Ambiente.

Durante 2014 la construcción de una nueva planta de sulfato de cobre se lleva a cabo, la nueva planta se construye en la ciudad de Soledad, departamento del atlántico, con miras a suplir los mercados de exportación en centro américa y la creciente demanda en el mercado colombiano.

En la actualidad proyecta en el medio industrial nacional una imagen de cumplimiento, calidad, servicio e innovación.

Como valor agregado está en capacidad de prestar asesoría relacionada con la utilización del producto y obtener así su máximo rendimiento. Industrias EMU S.A. cuenta con los equipos adecuados, materias primas y conocimiento para la fabricación de productos, derivados del zinc, cobre, hierro, fósforo, magnesio y manganeso o cualquier otra preparación que se encuentre en nuestra línea de producción, según los requerimientos. (EMU, s.f.)

A nivel industrial se utilizan equipos para la fundición de materiales, uno de ellos es el horno industrial, el cual transfiere calor para alcanzar una temperatura superior al medio ambiente y así transferirlo a materiales o piezas situadas dentro de un espacio cerrado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Gracias a la generación y transferencia de calor se pueden fusionar metales, ablandarlos, cambiarlos de fase o recubrir piezas con otros elementos para crear nuevos materiales o aleaciones.

2.1 TIPOS DE HORNOS

- Cubilotos:** son hornos de forma cilíndrica, con una orientación vertical y envueltos en una chapa de acero dulce con un grosor de 5 a 10 mm. Su interior está revestido de mampostería refractaria de 250 mm. La resistencia eléctrica se haya insertada en el refractario exterior. Se emplean para fundir los lingotes de hierro que proceden de los altos hornos, la chatarra reutilizada, alimentadores o bebederos de piezas fundidas. (Ver figura 1)

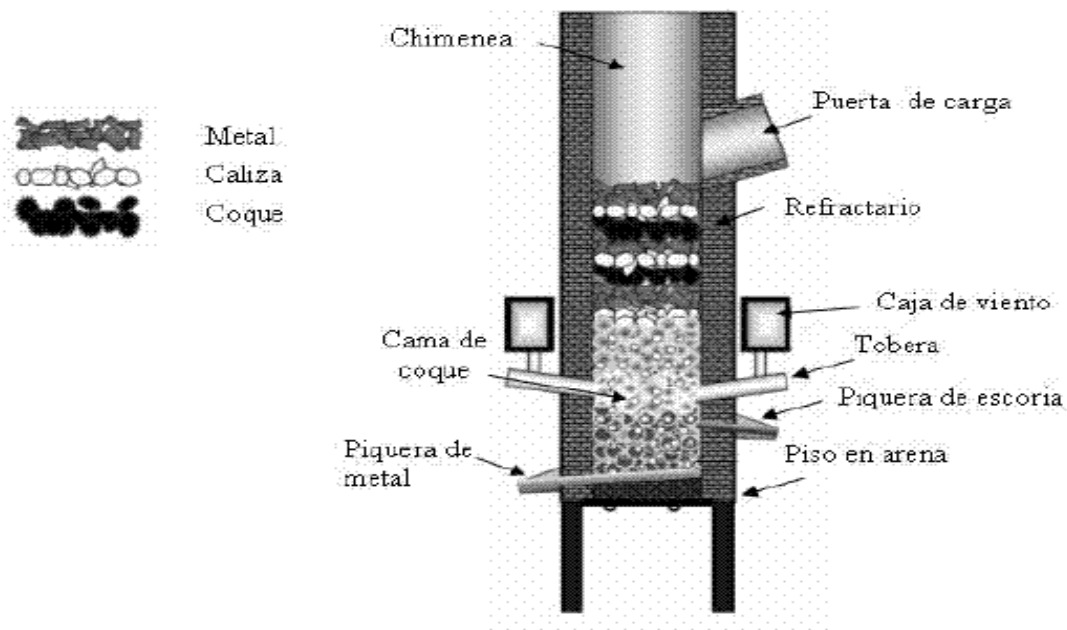


Figura 1. Horno de cubilotos(metalmetalacero, s.f.)

- Horno de crisol:** Los hornos de crisol trabajan por combustión de un elemento como el gas el cual calienta el crisol que contiene el material a fundir. También puede ser calentado usando energía eléctrica: horno de inducción.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El crisol se apoya sobre la peana que está hecha también en material refractario y le da la posición necesaria con respecto a la salida del gas.

Para lograr concentrar el calor alrededor del crisol este está contenido entre unas paredes refractarias que generan una cavidad para el flujo de los gases de combustión.

Existen hornos con crisol móvil o con crisol fijo. La diferencia entre estos es que el crisol móvil al fundir el metal se levanta y sirve como cuchara de colada. Los hornos de crisol fijo se deben cucharear para realizar la fundición. (Ver figura 2)

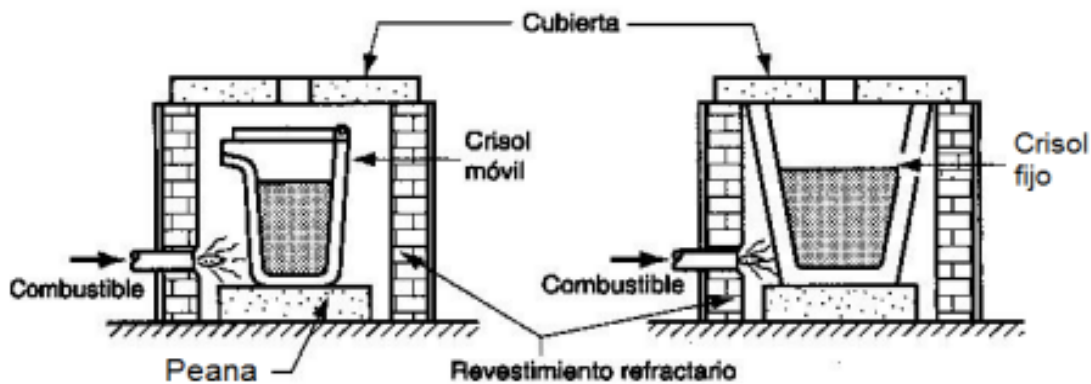


Figura 2. Hornos de crisol móvil y horno de crisol fijo. (Ingeniería.)

- **Hornos de reverbero:** son los que se emplean para la fundición de piezas de gran tamaño. Puede fundir tanto metales férreos como no férreos como, por ejemplo, el bronce, el latón o el aluminio. la capacidad de este tipo de horno oscila entre los 45 y 1000 kg. (Ver figura 3)

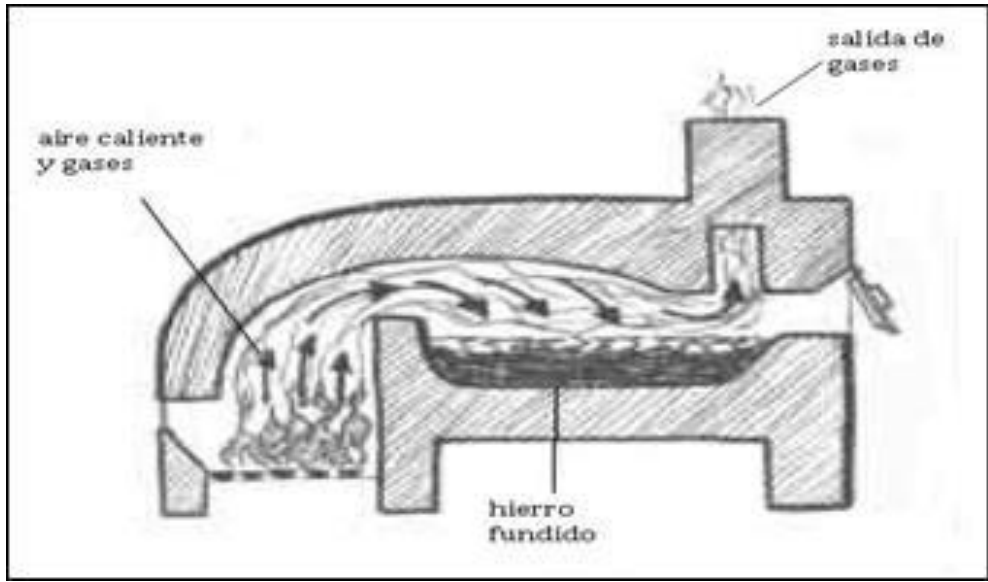


Figura 3. Horno de reverbero(Gauto, s.f.)

- Hornos rotativos:** se dice que son los hornos de reverbero perfeccionados porque también pueden calentar la carga mediante llamas, gases y radiación, al igual permite calentar los materiales por su contacto directo con la parte superior del horno. Los hornos rotativos están recubiertos por un cilindro de acero y un eje horizontal acabado y sus extremos acaban con tronco de cono (Naya, 2018). (Ver figura 4)

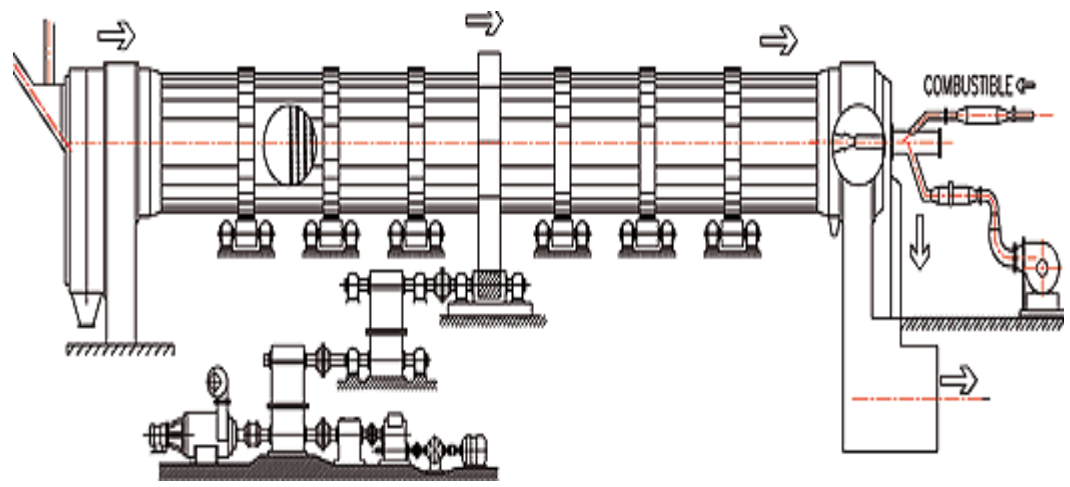


Figura 4. Horno rotativo(Castillo, s.f.)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Hornos de Crisol**

Los hornos de crisol constan de varios elementos, entre ellos el cuerpo, el cual debe ser construido con ladrillos refractarios situados verticalmente en forma circular formando un cilindro que será la cavidad para el crisol. Debe contar con un revestimiento metálico delgado que se afiance, proteja las paredes y una tapadera de ladrillos con su revestimiento propio. (Argenis & Beltrán, 2014). (Ver figura 5)

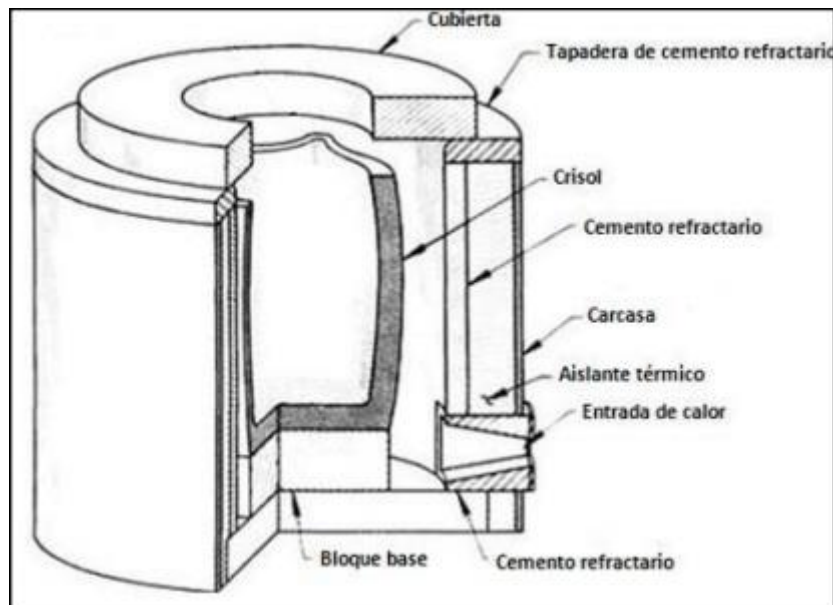


Figura 5. Horno crisol detallado (Salvador, 2014)

Las altas temperaturas en estos hornos (600 y 1500°C) (Arrieta & Cadavid, 2013) se deben a la combustión que se producen en los quemadores de estos, ya que el proceso básico de combustión es una forma especial de oxidación en que el oxígeno del aire se combina con elementos combustibles, generalmente son carbono, hidrógeno y en menor medida azufre. Se necesita una mezcla adecuada de combustible y aire, así como una temperatura de ignición para que el proceso de combustión continúe. El combustible debe prepararse de forma que se haga posible dicho proceso a través de la mezcla de combustible y aire.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2 PROCESO DE COMBUSTIÓN

Las reacciones químicas deben satisfacer tres condiciones para que tengan lugar en el proceso de combustión:

- Es necesaria una adecuada proporción entre combustible y oxígeno (o aire) con los elementos combustibles.
- La mezcla de combustible y oxígeno (o aire) debe llevarse a cabo, de modo que una mezcla uniforme esté presente en la zona de combustión y así cada partícula de combustible tenga aire alrededor para ayudar en la combustión. Los combustibles sólidos normalmente se convertían primero en gas por el calor y la presencia de aire. Los combustibles líquidos se vaporizan a gas y después arden. La atomización de los líquidos incrementa su mezcla con aire y la vaporización a gas. La pulverización del carbón tendrá el mismo efecto.
- La temperatura de ignición se establece y será monitorizada de forma que el combustible continúe su ignición sin calor externo cuando la combustión arranque.
(Kohan, 2000)

2.3 TECNOLOGÍAS EN RECUPERACIÓN DE CALOR

En los últimos años ha venido cobrando importancia a nivel mundial una corriente de conciencia ambiental que ha despertado el interés por la utilización de tecnologías de calentamiento cada vez más eficientes que ayuden a disminuir el consumo de combustible e incrementen la eficiencia térmica de los procesos en aplicaciones industriales como los hornos.

Esto ha sido motivado por la incertidumbre en los precios de los combustibles fósiles, los pronósticos que hablan de limitadas reservas de petróleo en las décadas venideras, las políticas de producción más limpia con mínimos impactos ambientales y la necesidad de incrementar la competitividad para asegurar la permanencia en el mercado, sin olvidar las expectativas creadas por la minimización del impacto del cambio climático.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Una de las alternativas más comunes para incrementar la eficiencia térmica en los procesos industriales consiste en la recuperación de los calores residuales generados en distintos equipos de calentamiento y que generalmente son evacuados al ambiente, pudiendo ser reutilizados para algunos usos en etapas posteriores de los procesos con propósitos económicos. Por otra parte, el uso de calores residuales contribuye significativamente a la disminución del consumo de combustible y de emisiones de gases de efecto invernadero.

Hay varias fuentes de calores residuales en la industria, tal como grandes cantidades de productos de combustión que son generados en calderas, hornos, turbinas o motores de combustión interna, calor en corrientes de vapor, calor convectivo y radiante hacia el exterior de los equipos, en el suministro o almacenamiento de agua refrigerada, calor almacenado en productos que salen de los procesos y en efluentes líquidos y gaseosos, entre otros. Si se recupera parte de estos calores residuales, se puede ahorrar una cantidad considerable de energía primaria.

Es innegable que los grandes avances de la tecnología y el desarrollo de la humanidad han estado ligados al descubrimiento y explotación de distintas formas de energía, entre las que sobresale la generación de calor a partir de la combustión. El calor, energía en tránsito originada por la diferencia de temperatura entre dos sustancias, es sin duda el motor de numerosas aplicaciones modernas en la industria, ya que el uso eficiente de este repercute en un aprovechamiento máximo de la energía disponible, con la consecuente reducción en costos e impacto ambiental.

Las principales razones para implementar un sistema de recuperación de calores residuales radican en consideraciones de tipo económico y ambiental. El protocolo de Kioto y todos los acuerdos gubernamentales a nivel global que buscan un descenso en las emisiones de dióxido de carbono han obligado a reflexionar acerca de los modelos tradicionales de consumo y transformación de la energía, especialmente aquella derivada de los combustibles fósiles, con el fin de encontrar métodos alternativos más eficientes y más amigables con el planeta.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Todo el calor que pueda ser recuperado satisfactoriamente substituye parte de la energía requerida a partir de los combustibles y por lo tanto reduce los costos de la energía consumida y las emisiones contaminantes en los procesos industriales. Existe un número considerable de usos que se pueden asignar a estos calores residuales y estos dependen en gran parte de la temperatura y condición de los fluidos a partir de los cuales pueden obtenerse, el equipo de recuperación usado y la valoración económica del desempeño global del sistema.

Estas nuevas tecnologías se basan en la recuperación de calor de estos hornos para así mitigar las pérdidas en estos elementos, ya sea en la combustión o en el proceso como tal. Las pérdidas en este sistema se pueden dar por conducción, convección o radiación a través de la chimenea y paredes.

Estas alternativas son comunes para incrementar la eficiencia térmica en los procesos industriales que consiste en la recuperación de los calores residuales generados en distintos equipos de calentamiento y que generalmente son evacuados al ambiente, pudiendo ser reutilizados para algunos usos en etapas posteriores de los procesos con propósitos económicos. Por otra parte, el uso de calores residuales contribuye significativamente a la disminución del consumo de combustible y de emisiones de gases de efecto invernadero. *(Acevedo, 2011)*

Este proyecto se centrará en la viabilidad de la conducción de gases residuales entre dos de los equipos en Industrias EMU. S.A. Uno de ellos es el horno de crisol (horno de sublimación) el cual se encarga de la producción de óxido zinc al 99% y uno rotativo (Hornos de calcinación) el cual tiene la función de la producción de Emuzic el cual es un producto potencial en industrias EMU S.A. Gracias a la transferencia de calor, se puede mitigar las pérdidas de estos equipos y mejorar su eficiencia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

En la primera parte realizamos una breve descripción de los productos los cuales se realizan en Industrias EMU S.A., tipos de hornos, partes y como se alcanzan las altas temperaturas en estos. También la importancia de las nuevas tecnologías en la recuperación de calores residuales al igual que la especificación de los hornos en los cuales se centrará el proyecto.

Como parte del proyecto nos enfocaremos en:

- Analizar las condiciones termodinámicas de los gases de salida del horno de sublimación (Flujo másico, Temperatura de salida de los gases de combustión, velocidad de salida de estos gases y su composición).
- Estudiar las características técnicas de operación del horno de calcinación (Flujo másico, composición de salida de los gases de combustión, Horas de trabajo, entre otros).
- Análisis técnico de la recuperación de calor del horno 1 (Temperatura mínima de trabajo, temperatura de entrada de los gases residuales, etc.).
- Análisis económico de la recuperación de calor del horno 1, esta breve descripción nos ayudara para el desarrollo de la metodología y para definir la viabilidad del proyecto.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS

Para tener una aproximación a las condiciones iniciales de los hornos de EMU S.A., fue necesario acudir a información técnica de documentos del horno los cuales se encuentran en el departamento de Mantenimiento, como también a la información obtenida por Incombustion presentado en el año 2016, los cuales presentaron un informe de gestión energética, analizando por varios días y con diferentes equipos de medición y en compañía de expertos de la universidad de Antioquía dos de los principales equipos en industrias EMU S.A. como lo es el horno de sublimación y el horno de calcinación. En este informe se logró obtener balance de masa para los dos hornos, pérdidas y eficiencia energética, temperaturas del proceso, temperaturas de salida de los gases de combustión, consumo de potencia de estos dos equipos y realizaron algunas recomendaciones para mejorar la eficiencia de estos. (*incombustion, 2016*). De este análisis realizado es que surge la idea en industrias EMU S.A. en recuperar los gases residuales de la chimenea lateral del horno de sublimación he introducirlos al horno de calcinación y así mejorar la eficiencia de estos y reducir costos ya que no se tendría que disponer del quemador del horno de calcinación al 100%.

En las tablas 1,2 y 3 se muestran las principales características del horno de sublimación, tanto como el horno de calcinación y el quemador de este.

Tabla 1. Características principales del horno de sublimación

Temperatura del proceso	1100°C
Temperatura de los gases de salida de la combustión	998,5 °C
Temperatura de los alrededores	50,4°C
Flujo másico	0,04458 $\frac{kg}{s}$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Composición de los gases de salida	CH ₄ , N ₂ , CO ₂ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀ (i), C ₄ H ₁₀ (n), C ₅ H ₁₂ (i), C ₅ H ₁₂ (n), C ₆ H ₁₄ (n), SO ₂ , H ₂ O, CO, NO, O ₂
Perdidas energéticas en el horno	60%
Material refractario	4,5" de ladrillo tipo U-33
Medidas del horno	1,27m de Alto y 1,2m de diámetro exterior
Horas de funcionamiento	1440 h (En dos meses)
Año de fabricación	2011
Combustible	Gas natural
Periodicidad del Mantenimiento	Cada 2 meses
Principales daños en los últimos años	Ruptura por crisol
Temperaturas de la pared	230 °C
Espesor del material aislante	5" de manta cerámica
Volumen del horno	1,43 m ³
Capacidad	800 kg
Tipo de material que trabaja	Zinc



Figura 6. Horno de sublimación (Imagen suministrada por industrias EMU S.A.)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 2. Características principales horno calcinador

Temperatura del proceso	1100 °C
Temperatura superficial	200°C
Pérdidas energéticas en el horno	64%
Temperatura de los gases de salida de la combustión	493 °C
Flujo másico	0,2093 $\frac{kg}{s}$
Composición de los gases de salida	CH ₄ , N ₂ , CO ₂ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀ (i), C ₄ H ₁₀ (n), C ₅ H ₁₂ (i), C ₅ H ₁₂ (n), C ₆ H ₁₄ (n), SO ₂ , H ₂ O, CO, NO, O ₂
Material refractario	4,5" de ladrillo tipo U-33
Medidas	3,5 m de longitud, diámetro exterior de 0,95 m
Año de fabricación:	1995
Horas de funcionamiento	624 h por mes
Combustible: Gas natural	Gas Natural
Periodicidad del Mantenimiento	Cada 8 días
Principales daños	Transmisión, potencia y en caja reductora.
Temperaturas de la pared	220°C
Espesor del material aislante	0,23 m de vermiculita
Volumen del horno	2.28m ³
Capacidad	200 kg
Tipo de material que trabaja	Cenizas de zinc

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 7. Horno de calcinación (Imagen suministrada por industrias EMU S.A)

Tabla 3. Características principales quemador horno calcinador

Tipo	Paquete
Referencia	JIMAK
Potencia	120 kW
Temperatura de salida de los gases	1005 °C
Composición de los gases de salida	CH ₄ , N ₂ , CO ₂ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀ (i),C ₄ H ₁₀ (n), C ₅ H ₁₂ (i),C ₅ H ₁₂ (n),C ₆ H ₁₄ (n)



Figura 8. Quemador Horno de calcinación (Imagen suministrada por industrias EMU S.A)

Los datos de temperaturas fueron tomados con cámara termografía FLIR E40 (ver tabla 4) pirómetro FLUKE 568 (ver tabla 5), para la medición de la temperatura ambiente se utilizó un CEM modelo DT-171(ver tabla 6) y para composición de gases Bacharach PCA3 (ver tabla 7). (incombustion, 2016)

Tabla 4. Datos técnicos cámara termografica (FLIR, s.f.)

CARACTERISTICAS	FLIR E40
Intervalo de temperatura	De -4 a 1202 °F (de -20 a 650°C
Sensibilidad térmica (NETD)	<0,07 a 30°C
Tipo de detector – Matriz de plano focal (FPA),microbolómetro no refrigerado	160x120 pixeles
Mejora de la imagen con MSX	Si
Imagen en imagen (PiP)	PiP fijo
Grabación de vídeo MPEG-4	Si
Punto móvil	3 Puntos
Área	3 áreas (imagen completa con mín./máx./promedio)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 5. Datos técnicos pirómetro FLUKE 568 (FLUKE, s.f.)

Rango de temperaturas infrarrojas	-40 a 800 °C (-40 °F a 1472 °F)	
Exactitud infrarroja	< 0 °C (32 °F): ± (1.0 °C (±2.0 °F) + 0.1 °/1 °C o °F)	
	> 0 °C (32 °F): ±1 % o ±1.0 °C (±2.0 °F), el mayor valor	
Resolución de pantalla	0.1 °C / 0.1 °F	
Respuesta espectral infrarroja	8 μm a 14 μm	
Tiempo de respuesta (medidas por infrarrojos)	< 500 ms	
Rango de temperatura de entrada de termopar tipo K	-270 °C a 1372 °C (-454 °F a 2501 °F)	
Exactitud de entrada de termopar tipo K	-270 °C a -40 °C	± (1 °C + 0.2 °/1 °C) (-454 °F a -40 °F: ±[2 °F + 0.2 °/1 °F])
	-40 °C a 1372 °C	±1 % o 1 °C (-40 °F a 2501 °F: ±1 % o 2 °F), el mayor valor

Tabla 6. Datos técnicos CEM DT-171 (via industrial, s.f.)

Referencia	DT-171
Dimensión	94x50x25mm
Rango de humedad	0 a 100%HR
Rango de temperatura	-40 a 70 °C
Capacidad memoria	16,000 registros
Ciclo seleccionable	1seg a 2 horas
Software	Adquisición datos incluido WINDOWS XP o inferior
Resolución	0.1%RH, 0.1 °C
Marca	CEM

Tabla 7. Datos técnicos Bacharach PCA3 (Bacharach, s.f.)

Medición (basada en los sensores instalados)	Rango de visualización
Oxígeno	De 0.1 a 20.9%
Temperatura del gas de descarga de la chimenea	De -4 a 2,192 °F (de -20 a 1,200 °C)
Temperatura del aire ambiente/principal	De -4 a 999 °F (de -20 a 537 °C)
Monóxido de carbono (CO) (H ₂ compensado)	De 0 a 4,000 ppm
Presión/tiro	±72" H ₂ O (±179 mb)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Rango de CO alto	De 4,001 a 20,000 ppm
Óxido nítrico (NO)	De 0 a 3,000 ppm
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	De 0 a 500 ppm
Dióxido sulfúrico (SO ₂)	De 0 a 5,000 ppm

Otros datos fueron tomados o calculados en sitio tales como temperatura mínima de funcionamiento del horno de calcinación, cálculos de la velocidad de salida de los gases, medidas para definir la trayectoria de la tubería por la cual se conduce el calor y cotizaciones de dicha tubería y del aislante el cual nos ayuda a tener mayor eficiencia en este.

Para determinar la temperatura de funcionamiento mínima, se analiza el horno de calcinación, su funcionamiento, tipo de material con el cual trabaja, condiciones de trabajo tipo de combustible, generación de calor a sus alrededores, tipo de mantenimiento y la manera por la cual proceden a cargar este equipo. Según esto nos lleva a determinar que la manera adecuada para saber dicha de temperatura mínima de trabajo es el periodo de iniciación de dicho equipo (condiciones ambientales) ya que se presenta concurridamente por la continuidad de mantenimiento de dicho equipo, por lo cual se procede a esperar el día en que inician el horno calcinador, el cual se encontraba 15 días fuera de funcionamiento por labores de mantenimiento y exceso de producción.

El pasado miércoles 3 de oct. Del 2018 entra en operación el horno calcinador, se procede a tomar registro de los datos de este horno desde condiciones ambientales hasta condiciones ideales de trabajo, obteniendo los siguientes datos (ver tabla 8).

Tabla 8. Registro de temperaturas del horno calcinador.

Hora de registro	Temp. Del quemador (°C)	Temp. De funcionamiento (°C)	Temp. De superf. (°C)	Temp. Gases de salida (°C)
8:30am	0	27	27	0
8:32am (iniciación)	821	27	27	0
9:00am*	1004	600	90	330
9:30am	1024	840	114	338
10:00am	1035	918	135	389

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

10:30am	1040	973	146	415
11:00am	1040	1017	180	493
11.30am**	1040	1025	222	500
12:00pm	1040	1068	275	520

*Horario en el que ingresa cierta cantidad de material al horno, sirve para evaluar el funcionamiento del horno y ponerlo a punto.

**Horario en el que se determina que está en condiciones ideales para realizar el proceso de "oxidación" para cargarlo completamente.

Las mediciones obtenidas de la temperatura interna del horno, de la superficie, del quemador y de los gases de salida (Tabla 8), se realizaron con un pirómetro óptico (Pirómetro PCE-889B) (ver tabla 9) y termómetro digital (UNI-T UT325) (ver tabla 10) los cuales industrias EMU cuenta con ellos.

Tabla 9. Datos técnicos Pirómetro PCE-889B (PCE, s.f.)

Rango	-50.... +1000°C
Resolución	0,1°C
Precisión	±1 %
Tiempo de respuesta	<150 ms
Óptica	30:1
Ajuste del grado de emisividad	0,1 ... 1,0
Rango espectral	8 ... 14 μm
Rayo láser para visar	Doble rayo láser (clase 2)
Dimensiones	146 x 104 x 43 mm
Peso	163g
Unidades de temperatura	°C / °F

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 10. Datos técnicos termómetro digital (UNI-T UT325) (UNI-T, s.f.)

Tipo K	-200.0 a +1372°C
	-328.0 a +2501°F
Tipo J	-210.0 a +1200°C
	-346.0 a +2192°F
Tipo T	-250.0 a +400°C
	-418.0 a +752.0°F
Tipo E	-150.0 a +1000°C
	-238.0 a +1832°F

El horno de sublimación cuenta con una variable la cual desconocemos y es la velocidad de salida de los gases. Actualmente La medición de velocidad de gases es de gran utilidad en diversas aplicaciones, incluyendo la meteorología, la investigación y desarrollo en áreas como la construcción, la dispersión de contaminantes, y los procesos industriales, debido a que en ciertas condiciones es posible inferir el caudal del fluido a partir de la medición de velocidad.

En cuanto a los instrumentos de medición, actualmente para velocidad de gases se encuentra disponible una amplia oferta tecnológica de instrumentos, que varían en intervalos, condiciones de medición, y en niveles de precisión. En cualquier caso, los instrumentos de medición comúnmente utilizados para bajas velocidades son: tubos de Pitot (basados en la ecuación de Bernoulli), anemómetros rotativos (registran la velocidad por medio de la rotación de partes móviles), anemómetros térmicos (miden la velocidad a través de la rapidez de enfriamiento de una sección calentada eléctricamente). *(Alfonso & García, 2010)*

Estos tres tipos de elementos fueron considerados para la medición de esta variable pero el caso de los tubos de pitot no funciona para este caso ya que está basado en la ecuación de Bernoulli y los gases es un fluido compresible *(Martín & Salcedo, 2011)*.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Debido a la temperatura elevada de los gases de salida gracias a la combustión (998°C), no se puede utilizar el anemómetro, ya que los materiales de los que están fabricados no resisten altas temperaturas como lo es en este caso (ver tabla 11).

Tabla 11. .Datos técnicos de las sondas para Anemómetro (Altas Temperaturas) Serie 6162(metrica, s.f.)

Modelo	0204
Rango de Medición de Velocidad del Aire	32 a 212 °F 40 a 9840 fpm(0.2 a 50.0m/s)
	212 a 392 °F 80 a 9840 fpm(0.4 a 50.0m/s)
	392 a 572 °F 138 a 9840 fpm (0.7 a 50.0m/s)
	572 a 752 °F 198 a 9840 fpm (1.0 a 50.0m/s)
Precisión	+/-3%F.S.
Rango de Medición de Temperatura	32 a 932°F (0 a 500°C)
Precisión	+/-1% de la lectura
Dimensiones / Peso	∅ 14 x 1000mm (∅ 0.6" x 39.4")1.1 lbs (500 g)
Cable de las sonda	Recubrimiento de teflón
Resistencia al calor	392°F(200°C)
Cable de extensión	Recubrimiento de vinil
Resistencia al calor	176°F(80°C)

Ya que no es posible hallar la velocidad con este equipo se procede al cálculo de esta variable.

Para esto se emplean las siguientes ecuaciones.

$$\rho = \frac{\dot{m}}{\dot{V}} \quad (1)$$

Donde:

P : Densidad de los gases de salida, $\frac{kg}{m^3}$

\dot{m} :Flujo másico de los gases, $\frac{kg}{s}$

\dot{V} : Flujo volumétrico, $\frac{m^3}{s}$

De esta ecuación se posee el flujo másico (\dot{m}), gracias a los datos suministrados en el estudio realizado por incombustion (ver tabla 1).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

De la ecuación (1) falta obtener la densidad de los gases de salida, por lo cual recurrimos a trabajar con la densidad del aire ya tiene propiedades semejantes a los gases de salida de la combustión. En este caso se trabaja con la densidad del aire a una temperatura de 1000°C ya que los gases de salida de la combustión se aproximan a esta temperatura, obteniendo así el siguiente valor:

$$\rho = 0.2772 \frac{kg}{m^3} \text{ (Yuns \& Boles, 2012) (Tabla A-9)}$$

Como segunda ecuación tenemos:

$$\dot{V} = V \cdot A \quad (2)$$

Donde:

V: Velocidad de los gases de salida, $\frac{m}{s}$

A: Área de la chimenea lateral, m^2

Luego, despejamos el flujo volumétrico de la ecuación (1) y reemplazamos en la ecuación (2), obteniendo así:

$$\frac{\dot{m}}{\rho} = V \cdot A \quad (3)$$

Con base a la ecuación (3) podemos despejar la velocidad y así poder obtener la ecuación (4) al igual que el valor de esta variable.

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A} \quad (4)$$

De esta ecuación poseemos todos los datos, en cuanto el cálculo del área de la chimenea industrias EMU S.A suministro el valor de esta.

$$A = 0,016m^2$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Remplazando en la ecuación (4) tenemos:

$$V = \frac{0,044 \frac{kg}{s}}{0,2772 \frac{kg}{m^3} \cdot (0,016m^2)}$$

$$V = 9,92 \frac{m}{s}$$

Ahora que se cuenta con el valor de la velocidad de salida de los gases podemos tener una aproximación de cómo se va dando la conducción de los gases residuales entre un horno y otro, para esto también hace falta definir cómo se van a transferir el calor entre el horno de sublimación y el horno calcinador.

3.2 CÁLCULO DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE CALOR DEL CALOR RECUPERADO

Para el desarrollo de este proyecto es importante conocer la distancia entre hornos ya esto involucra factores tales como puede ser la determinación de un tiro forzado o uno natural, perdidas e incluso la viabilidad del proyecto, para lo cual se anexa esquema para determinar la mejor manera de mitigar perdidas y realizar la mejor distribución de la tubería posible. (Ver figura 9.)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

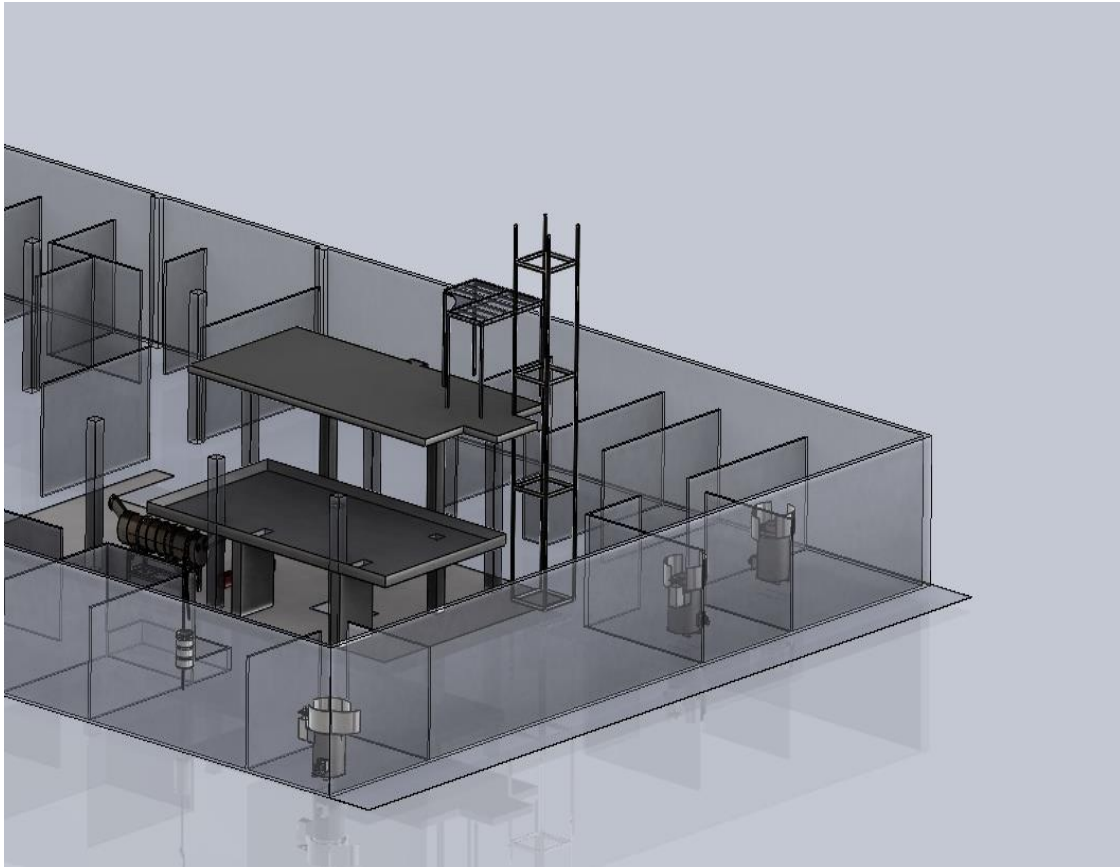


Figura 9. Plano de la planta donde se centrara el proyecto. (Esquema suministrado por industrias EMU. S.A.)

3.3 VARIABLES TERMODINÁMICAS DE LOS HORNOS

Para calcular la posible transferencia de calor entre los hornos es necesario plantear las siguientes ecuaciones que dan cuenta de las variables requeridas para el cálculo posterior.

Para esto se emplean las siguientes ecuaciones:

$$Q_1 = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_1 - T_2) \quad (5) \quad (\text{Cengel, 2007})$$

Donde:

Q_1 : Calor de transferencia del horno 1, kW

\dot{m} : Flujo másico, $\frac{kg}{s}$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

C_p : Calor específico del aire, $\frac{J}{kgK}$

T_1 : Temperatura en grados kelvin de los gases de salida de la combustión en el horno 1, K

T_2 : Temperatura a los alrededores del horno, K

En la ecuación (5) conocemos: flujo másico (\dot{m}), temperatura de los gases de salida (T_1) y la temperatura de los alrededores (T_2) gracias a los datos suministrados en el estudio realizado por incombustion (Ver tabla 1)

De la ecuación (5) falta obtener el calor específico (C_p). Normalmente se calcula el calor específico de cada uno de los componentes de los gases de salida para así obtener el C_p del gas de salida.

$$CP_{Gases} : \sum_{i:1}^n Xn. Cp_i \quad (6) \text{ (Martinez, 1992)}$$

Donde:

Xn : Fracción molar

Cp_i : Calor específico de cada uno de los componentes de los gases de salida

Se asume trabajar con el Calor específico del aire a la temperatura de salida de los gases de combustión como se realizó con la densidad para el cálculo de la ecuación (4), ya que estos gases residuales provenientes a la combustión tienen propiedades químicas similares a las de aire en la actualidad gracias también a las partículas de contaminación. Obteniendo así el C_p del aire a 1000°C.

$$C_p = 1184 \frac{J}{kgK} \text{ (Yuns \& Boles, 2012) (Tabla A-9)}$$

También se debe considerar para este caso que calcular el calor específico (C_p) por medio de la ecuación (6), en dicho momento que industrias EMU S.A decida cambiar de combustible se tendría que replantear dichos cálculos.

Remplazando los datos mencionados anteriormente en la ecuación (5) se obtiene:

$$Q1: 0.044 \frac{kg}{s} \cdot 1184 \frac{J}{kgK} \cdot (1271.15K - 323.55K)$$

$$Q1: 52,096 \frac{J}{K.s} \cdot (947K)$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Q1: 49.33 kW

Con este resultado obtenemos el calor generado por las pérdidas en la chimenea lateral del horno de sublimación, este sería el aporte el cual el horno de sublimación entregaría en potencia al horno calcinador.

Como sabemos el horno calcinador cuenta con un quemador tipo paquete (ver tabla 3) en el cual se realizó un aforo, determinando un consumo anual de combustible. Como es de notar la potencia entregada por las pérdidas del horno de sublimación (49.33kW) no es la mitad de la potencia que entrega este quemador (120kW), por ende no habría ni siquiera una reducción del 50% en el consumo de este anualmente, teniendo así un pequeño ahorro en este consumo de combustible de un 40.8% con el valor actual si aplicamos la recuperación de calor del horno de sublimación. Este valor 40.8% representa un ahorro anual, pero conforme vaya avanzando el proyecto se mostrará la inversión que se debe lograr para reducir este consumo de gas.

Para el desarrollo de este proyecto es importante analizar el tramo correcto para poder conducir el calor de residual del horno 1 al horno de calcinación como se hizo anteriormente (ver figura 9), por lo cual esta trayectoria tiene que ser recta, tratando de evitar pérdidas por codos gracias a la estructura de la planta, se tiene que implementar un diámetro uniforme a través de la tubería por la cual se transfiere el calor, teniendo en cuenta la seguridad de la planta y el personal.

En compañía de industrias EMU S.A se decide seleccionar una tubería de 18m (Distancia entre hornos de sublimación y calcinación) más la distancia del horno hacia la superficie superior de acero al carbono Schedule 40 de 6', ya que estas diferentes aleaciones cuentan con las propiedades ideales para altas temperaturas (Ver tabla 12) el cual cuenta con un valor comercial de 617.100\$ x6m.

Tabla 12 . Especificaciones Técnicas de la temperatura de Acero al Carbón.

Material	Maxima temperatura basado en la tasa de fluencia		Maxima temperatura basado en la ruptura.	
	°C	°F	°C	°F
Acero al carbón.	450	850	540	1000
Cr- 0.5 Mo	510	950	595	1100
2.5Cr	540	1000	650	1200
Tipo 304 Acero inoxidable	595	1100	815	1500
Tipo C-276 Base de níquel	650	1200	1040	1900

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se anexan los siguientes planos en los cuales se define el trayecto de la tubería y sus especificaciones las cuales cumplen con las condiciones mencionadas anteriormente. (Ver figura 10 y 11.)

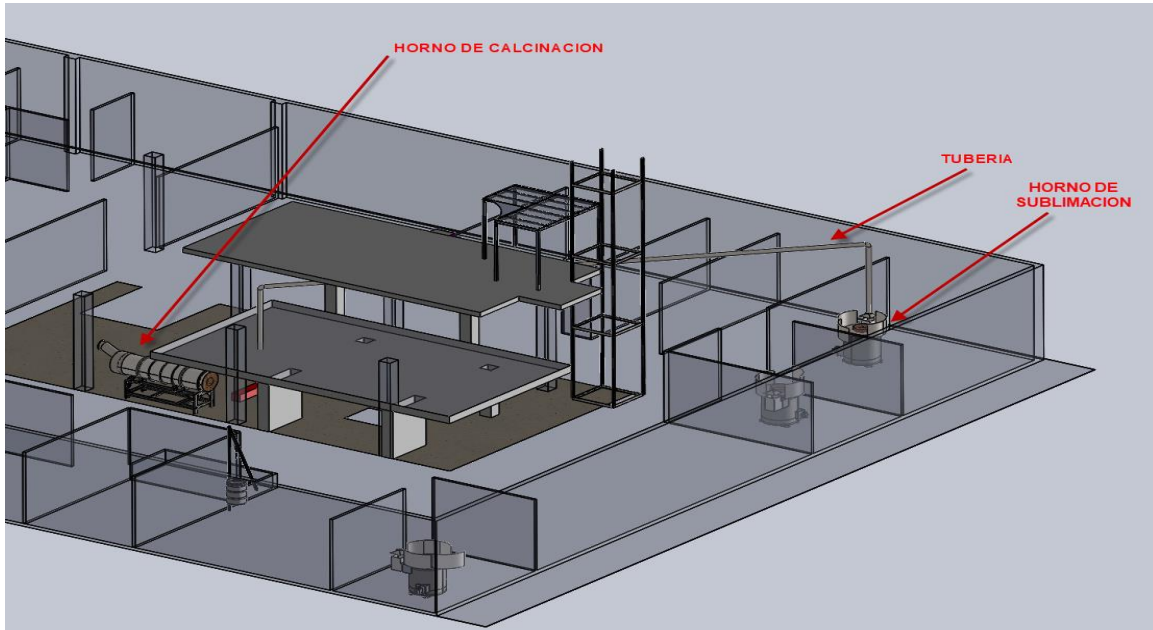


Figura 10. Plano de la tubería para la conducción de calor entre los hornos (Esquema suministrado por industrias EMU. S.A.)

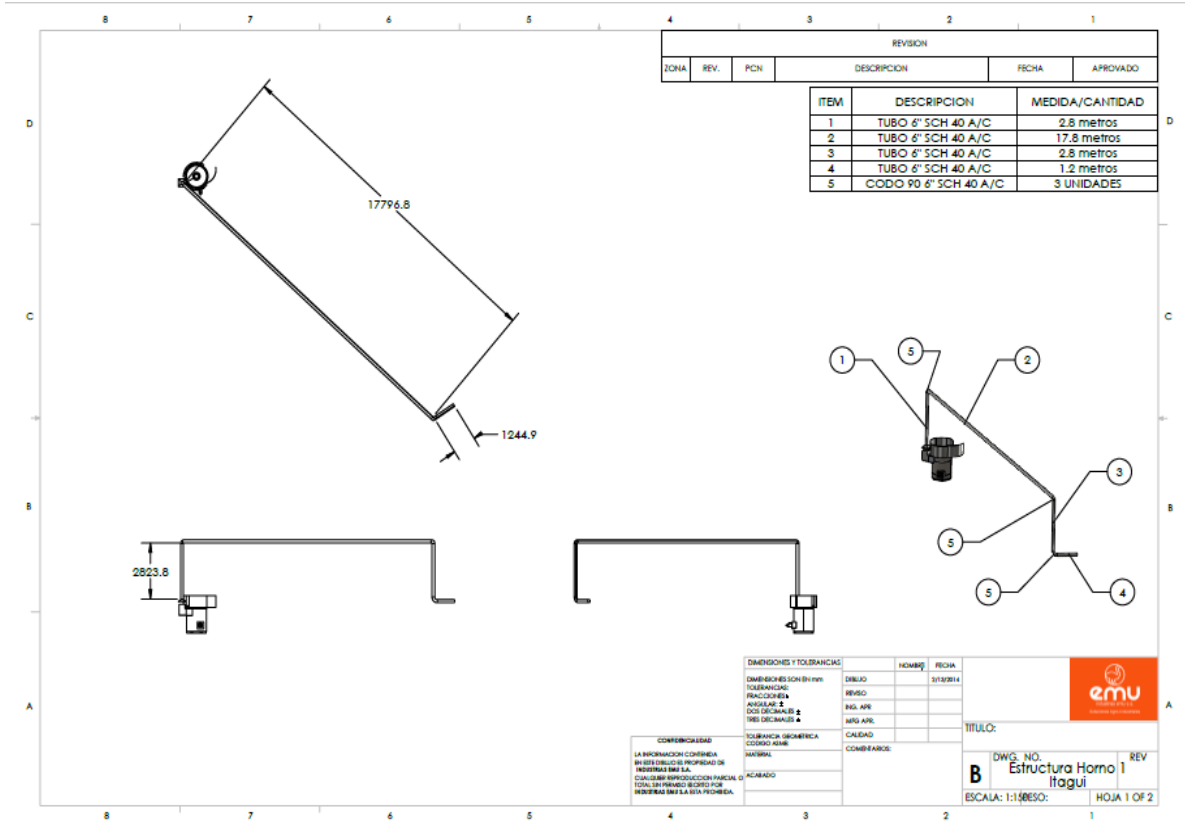


Figura 11. Plano detallado de la tubería para la conducción de calor entre los hornos (Esquema suministrado por industrias EMU. S.A.)

Gracias a los valores obtenidos (Ver tabla 8) de la temperatura de funcionamiento mínima del horno calcinador, el cual es un dato necesario para calcular el delta máximo de temperatura (ΔT_{max}) entre estos dos hornos, para obtener una aproximación de lo máximo que podemos perder en el trayecto de la transferencia de calor.

$$\Delta T_{max}: T_1 - T_2 \quad (7) \quad (Cengel, 2007)$$

Donde:

T_1 : Temperatura de los gases de salida del horno de sublimación (horno 1), °C

T_2 : Temperatura mínima de funcionamiento del horno calcinador, °C

Obteniendo así:

$$\Delta T_{max} = 998^\circ\text{C} - 821^\circ\text{C}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\Delta T_{max} = 117^{\circ}\text{C}$$

Según la resolución 2400 de 1979 por el ministerio de trabajo y seguridad social establece que las líneas que transporten o conduzcan sustancias calientes como vapores, gases o líquidos (mayores a 100 °C) deben estar provistos de cubiertas aislantes, en especial si atraviesan o están cerca de zonas de trabajo. (*Ministerio de trabajo y seguridad social*). Por lo cual es necesario contar con dicho aislante en este proyecto ya se deben cumplir las normas que rigen en nuestra sociedad, al igual que puede reducir las pérdidas de calor a través de la tubería durante el trayecto.

En compañía de Calorcol los cuales son distribuidores principales en aislantes se realiza la elección de este, el cual tiene que ser conveniente para este proceso, Al principio se realizó una cotización de una cañuela aislante (Ver figura 12.) ya que es la más utilizada en estas aplicaciones, pero gracias a sus especificaciones no cumple las características para ser utilizada en el proyecto (Ver tabla 13.)



Figura 12. Cañuela aislante para tuberías. (Calorcol, 2016)

Tabla 13. Especificaciones Técnicas del Aislante. (Calorcol, 2016)

Unidad	Cañuelas con foil y sin foil de aluminio
Densidad	8 lb/ft ³ (128 Kg/m ³)
Conductividad térmica	0.25 BTU. in/h.ft ² °F a Tm 100°F
Diámetro nominal de tubería	De ½in a 12in
Norma	ASTM C-547-03 type II
Temperatura de operación	Hasta 650°C
Empaque	Caja de cartón

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ya que este tipo de cañuela aislante no es la apropiada, Calorcol recomienda otro tipo de aislante (Ver figura 13) el cual ellos distribuyen y es apta para altas temperaturas como la que alcanza nuestro fluido el cual se transfiere por la tubería. (Ver tabla 14)



Figura 13. Manta cerámica. (Calorcol, 2016)

Tabla 14. Especificaciones manta cerámica. (Calorcol, 2016)

Dimensiones	300 in x 24 in
Espesor	1 in y 2 in
Densidad	4 lb/ft ³ , 6 lb/ft ³ y 8 lb/ft ³
Conductividad térmica	0,26 BTU.in/ft ² .hr.°F
Diámetro promedio de la fibra	2,8 micrones
Temperatura de operación	Hasta 1260°C
Punto de fusión	1600°C
Color	Blanco
Fabricada bajo norma	GBT 16400-2015

Se selecciona esta manta cerámica, la cual tiene propiedades que resisten altas temperaturas como lo es en este caso para la temperatura del fluido el cual va por la tubería mencionada anteriormente, esta tiene un valor de \$106.237 x Unidad, el proveedor de este aislante recomienda una chaqueta para evitar mayores pérdidas en el trayecto, el cual tiene un costo de \$59,185 x Unidad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.4 FACTIBILIDAD TÉCNICA DE RECUPERACIÓN DE CALOR

Se parte de la necesidad de lograr la recuperación de calores residuales gracias a la combustión de combustibles fósiles para mayor eficiencia en los procesos realizados en industrias EMU S.A y así lograr la reducción en el consumo de combustible del horno calcinador y disminuir el impacto ambiental.

Gracias a un aforo realizado en Industrias EMU S.A se determina el costo anual el cual proporciona el Quemador del Horno de Calcinación (Ver figura 14), se desea implementa este estudio de factibilidad técnica de la recuperación de unos de los hornos de sublimación para introducirlos al horno calcinador para reducir los gastos que proporciona dicho quemador ya que esto podría beneficiar a la empresa.

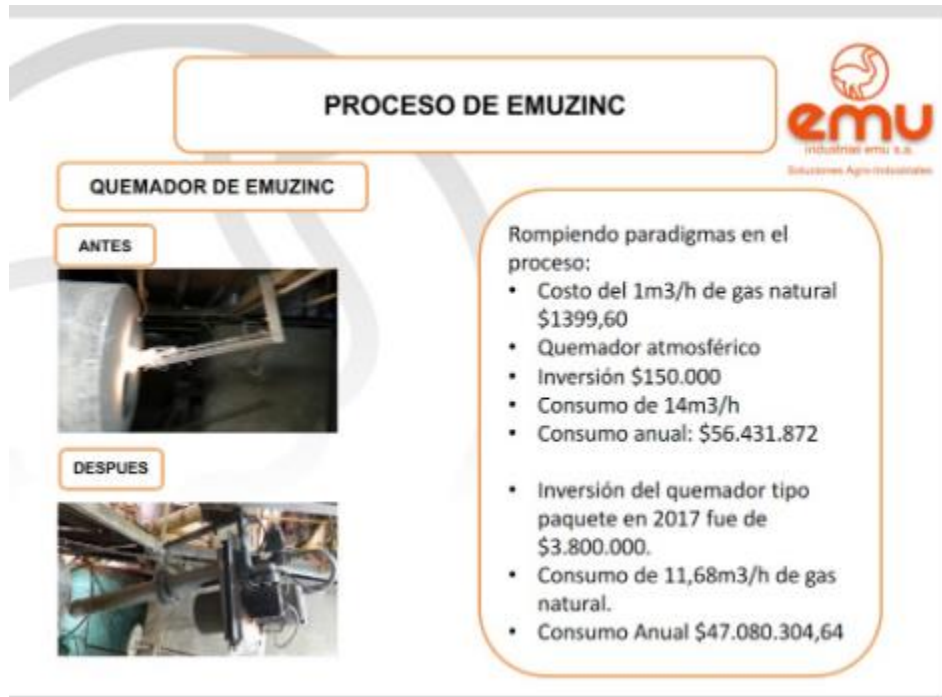


Figura 14. Consumo Anual del quemador horno calcinación.

Para el desarrollo de este proyecto se deben evaluar las condiciones de cada horno, su funcionamiento y las variables que actúan en estos equipos como se realizó anteriormente, luego se analiza las diferentes maneras por las cuales se va a lograr transportar estos gases provenientes del horno de sublimación al horno calcinador, para esto se estudian elementos adecuados en cuanto a la tubería por la cual se va a transportar el fluido (Ver tabla

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

12) el como también la manera de mitigar las perdidas lo más que se pueda con un aislante (Ver tabla 14).

Según una cotización realizada para la tubería con CASAVAL S.A. (ver tabla 15) y la cotización realiza con CALORCOL para el aislante (Ver tabla 16), los cuales tienen propiedades para altas temperaturas, ideales para este proyecto, tendrían el siguiente costo.

Tabla 15. Cotización de la tubería. CASAVAL S.A.

CANTIDAD	TIPO DE TUBERÍA	VALOR
5	Tubería AC API5L SCH40 6'' S/COSTURA	\$661.500xUnidad.
3	CODO AC SCH 6''X90	\$76.000XUnidad
VALOR TOTAL:		\$3.307.728

Tabla 16. Cotización del Aislante. CALORCOL

PRODUCTO	UNIDADES	PRECIO UNT (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
Fibra Cerámica densidad 6 Lb/pie ³ 0.61m x 7.20m x 1.0"	6 Cajas	106.237	637.422
Chaqueta 6'' x 2''	25 Und	59.185	1.479.625
Codos 6''x 2''	4 Und	59.185	236.740
Lana Suelta	1Und	32.760	32.760
SUBTOTAL			2.386.547
IVA 19%			453.444
TOTAL			\$2.839.991

Para la construcción del montaje del sistema de recuperación de calor de los gases residuales, Industrias EMU S.A recomienda a CONTRUCCIONES MIL LTDA, garantizando el montaje de está obteniendo el siguiente valor (Ver tabla 17).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 17. Cotización del Montaje. CONSTRUCCIONES MIL LTDA. .

DESCRIPCION	CANT.	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
Montaje de tubería de 6" para horno de sublimación según plano enviado por EMU	1	9.170.362	9.170.362
Montaje de aislamiento en manta cerámica de 8" con lámina acero inox. 430 calibre 26	1	14.926.000	14.926.000
INCLUYE Suministro de mano de obra Suministro de herramientas Suministro de materiales y consumibles			
NO INCLUYE Obras civiles Conexiones y desconexiones eléctricas			
		SUBTOTAL	24.096.362
		IVA	4.578.309
		TOTAL A PAGAR.	\$ 28.674.670

CONSTRUCCIONES MIL LTDA. recomienda realizar una visita detallada a la planta para definir un tiempo preciso en la duración del montaje, como empresa la cual realiza diferentes montajes y según los planos anexados anteriormente se tiene un tiempo estipulado de 10 a 15 días.

Como se mencionó anteriormente gracias a las pérdidas generadas por el horno de sublimación (49.33kW) las cuales se pueden aprovechar en el sistema del horno calcinador, representa un 40.8% en consumo de combustible de este horno calcinador, por lo tanto ese valor representa una suma de \$19'191.666,67 con respecto al consumo actual de este quemador el cual es de \$47'080.304,64. (Ver figura 14)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el desarrollo de este proyecto se realizaron diferentes cálculos de algunas de las variables más importantes como lo es la generación de calor en la chimenea lateral del horno 1 (Ver ecuación 1), también se definió el tramo correcto por el cual se va a transportar el fluido del horno de sublimación al horno calcinador, evitando el mayor número posible de pérdidas en el sistema (Ver figura 9,10 y 11), al igual que la elección de los materiales con las características adecuadas para transportar este fluido a altas temperaturas. (Ver Figura 15 y 16).

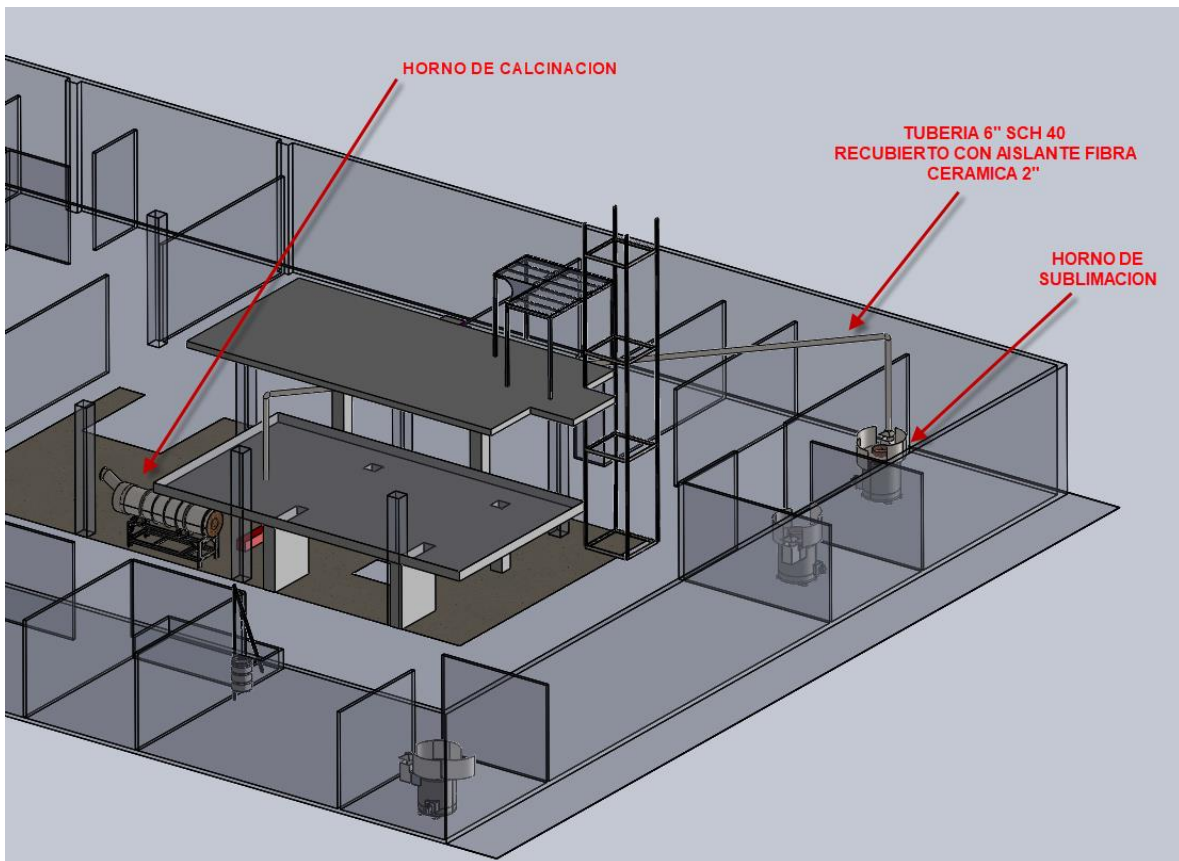


Figura 15.Plano de la tubería con sus especificaciones correspondientes. (Esquema suministrado por industrias EMU. S.A.)

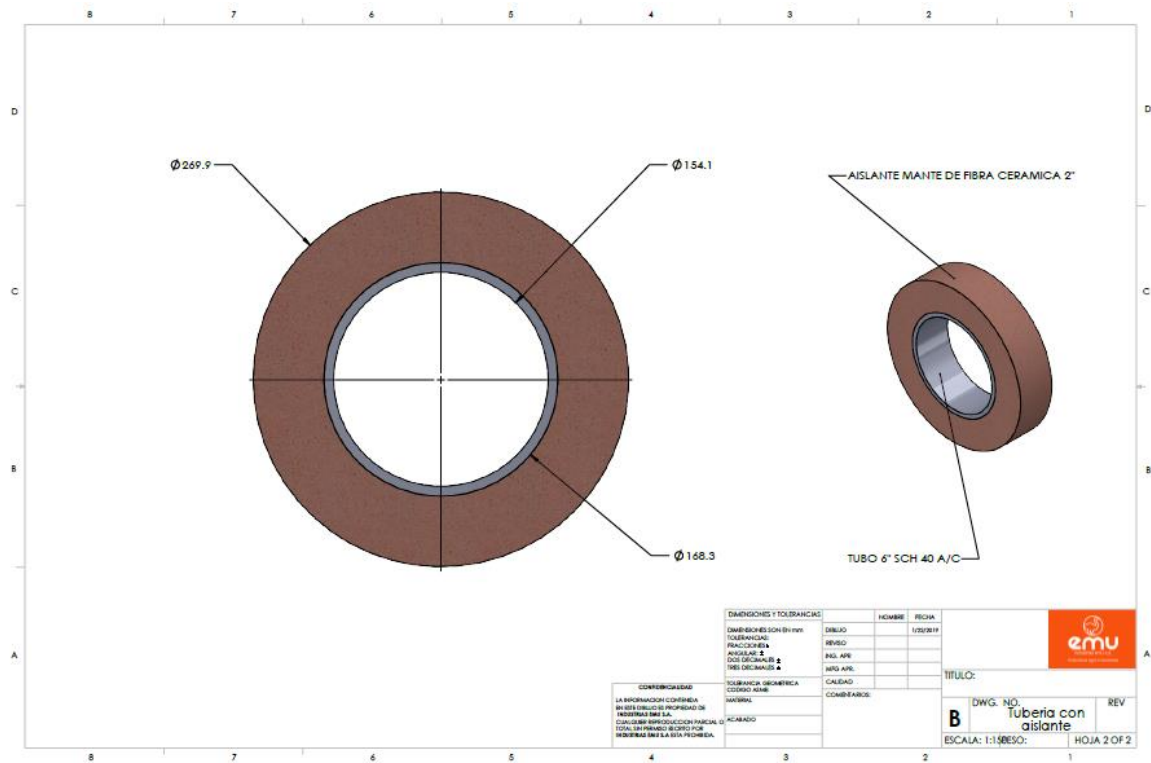


Figura 16. Plano de tubería con recubrimiento térmico. (Esquema suministrado por industrias EMU. S.A.)

Para detectar la mejor solución en la metodología, se tuvo en cuenta el análisis de las condiciones termodinámicas de los gases de salida del horno de sublimación ya que estas variables que actúan en estos podrían generar problemas al otro proceso en el cual va a ingresar (Ver tabla 1), se estudiaron las características técnicas de operación del horno de calcinación y su quemador (Ver tablas 2 y 3), Análisis técnico de la recuperación de calor del horno 1 (Ver tabla 8) y por ultimo un análisis económico de la recuperación de calor del horno de sublimación el cual no lleva a determinar el ahorro significativo de 40.8% en el consumo anual de combustible él y equivale a un valor de \$19'191.666,67. Pero teniendo en cuenta que se debe realizar la siguiente inversión. (Ver tabla 18)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 18. Inversión del proyecto.

Tipo de Inversión.	Valor (\$)
Tubería Acero al Carbono Schedule 40 de 6''x30m	3.307.728
Aislante Térmico. Manta cerámica.	2.839.991
Mano de obra por personal Externo.	28.674.670
Valor Total Inversión:	34.822.389

Por último, puede estimarse el periodo de retorno de la inversión (PRI) del proyecto mediante la siguiente ecuación

$$PRI = \frac{\text{Ahorro}}{\text{Inversión}} \quad (8)$$

Obteniendo así:

$$PRI: \frac{19.191.666.}{34.822.389}$$

$$PRI = 0.5$$

Este resultado nos demuestra un periodo de retorno de la inversión de 5 meses.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Se elabora un estudio de factibilidad para la recuperación de calor residual del horno de sublimación para así transferirlo al horno de calcinación obteniendo 40.8% en el ahorro de combustible para el funcionamiento de este.
- Se analizan los diferentes estudios y/o documentos de funcionamiento de estos hornos para saber las condiciones de operación de estos equipos como el estudio realizado por incombustion y los elementos con los cuales fueron realizados estos.
- Se evalúan las diferentes variables termodinámicas que intervienen en los hornos como lo es el flujo másico, calor específico, temperatura del proceso y sus alrededores entre otros, los cuales son importantes para el desarrollo del proyecto
- Se determina la factibilidad del proyecto, obteniendo el valor de la inversión total y el periodo de retorno a la inversión.

Como recomendaciones sugeridas: Se necesita analizar la forma más eficiente y segura de como introducir la tubería la cual transporta los gases residuales al horno de calcinación, ya que es un horno rotativo y cuenta con un espacio reducido y los diferentes operarios tiene que cargar este frecuentemente, al igual que realizar una inspección a los materiales aislantes de estos hornos ya se puede mejorar la eficiencia de estos.

El trabajo a futuro se centrara en analizar los ahorros obtenidos por Industrias EMU S.A cuando el proyecto se encuentre en una fase de operación, donde sería más precisas las mediciones de las variables y teniendo en cuenta las variables que lo afectan se puede lograr la optimización de este, como también de los diferentes hornos que se encuentran en Industrias EMU S.A ya que de estos se puede aprovechar los calores residuales con las nuevas tecnologías en recuperación de calor

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

6. REFERENCIAS

- Acevedo, c. (2011). *Tecnologías de recuperación de calores residuales*. ITM.
- Alfonso, F., & García, E. (2010). *Metrología a su alcance*. Obtenido de http://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu9/6_Tunel_de_viento.pdf
- Argenis, & Beltrán. (2014). Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/5577/2/Gu%C3%ADa%20de%20construcci%C3%B3n%20y%20manejo%20de%20horno%20de%20fundici%C3%B3n.pdf>
- Arrieta, & Cadavid. (2013). Obtenido de <http://www.indisa.com/indisaonline/anteriores/Indisa%20On%20Line%2016%20-%20Horno%20de%20Crisol%20Autoregenerativo%20para%20procesos%20de%20alta%20temperatura.pdf>
- Bacharach. (s.f.). Obtenido de <https://www.instrumart.com/assets/PCA3-manual-spanish.pdf>
- Calorcol. (2016). Obtenido de <https://calorcol.com/>
- Calvo. (s.f.). Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/6320/1/Dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20Un%20horno%20de%20crisol%20para%20aleaciones%20no%20ferrosas.pdf>
- Castillo. (s.f.). Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos102/analisis-imagen-corporativa-cemento-cibao-y-propuesta-creativa-cambio-logotipo/analisis-imagen-corporativa-cemento-cibao-y-propuesta-creativa-cambio-logotipo.shtml>
- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa* .
- EMU. (s.f.). *EMU*. Obtenido de <http://www.industriasemu.com/>
- FLIR. (s.f.). Obtenido de <http://dominion.com.mx/fichas/camara-termografica-flir-127.pdf>
- FLUKE. (s.f.). Obtenido de <https://www.fluke.com/es-co/producto/medicion-de-temperatura/termometros-infrarrojos/fluke-568>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Gauto. (s.f.). Obtenido de

<https://www.monografias.com/trabajos82/siderurgia/siderurgia2.shtml>

Icopera, & Witt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor* .

incombustion, U. t. (2016). *DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS EN LOS SECTORES INDUSTRIALES COLOMBIANOS*. medellin .

Ingeniería., E. C. (s.f.). Obtenido de

https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/9627_fundicion.pdf

ITM. (s.f.). *Tecnologías de recuperación de calores residuales* .

Kohan, A. (2000). *Manual de calderas, Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas* .

Mariños. (2013). Obtenido de

<https://es.slideshare.net/willingtonrodriguezmarinos/hornosyambiente>

Martín, & Salcedo. (2011). Obtenido de

https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/1/tema1_Flujo%20interno.pdf

Martinez. (1992). *Termodinamica basica y aplicada*.

metalmetalacero. (s.f.). Obtenido de <https://sites.google.com/site/metalmetalacero/>

metrica, t. (s.f.). Obtenido de <https://www.tecnometrica.com.mx/Anemometro-Alta-Temperatura-6162.html>

Ministerio de trabajo y seguridad social . (s.f.). Obtenido de

<https://www.ilo.org/dyn/travail/docs/1509/industrial%20safety%20statute.pdf>

Naya, J. M. (2018). *Julio Martinez* . Obtenido de

<http://www.juliomartineznaya.com/hornos-industriales-resistencias-electricas-tipos-y-usos/>

PCE. (s.f.). Obtenido de https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/pirometro-pce-instruments-pir_metro-pce-889b-det_5324844.htm

Salvador, U. d. (2014). Obtenido de

<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/6320/1/Dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

%20de%20un%20horno%20de%20crisol%20para%20aleaciones%20no%20ferrosas
.pdf

UNI-T. (s.f.). Obtenido de <http://digi.agelectronica.mx/pdfs/UT-325.pdf>

viaindustrial. (s.f.). Obtenido de

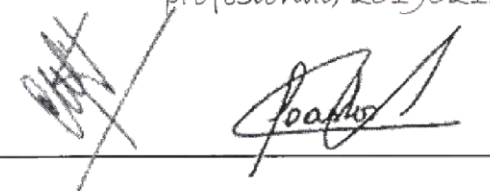
<https://www.viaindustrial.com/producto.asp?codigo=202905>

Yunus, & Boles. (2012). *termodinamica 7tha edición*.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Juan Fdo. Ramirez C.

Entrega definitiva del informe final de práctica profesional, 20190211

FIRMA ASESOR 

FECHA ENTREGA: 11 de febrero de 2019

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES_____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____