



RESUMEN - TESIS DE GRADO

AUTORES WILLIAM ALEXANDER CARRILLO IBAÑEZ JOSE LUIS RAMIREZ  
 ASPIRANTE LEONEL RINCON CASCINO  
 FACULTAD INGENIERIAS  
 PLAN DE ESTUDIOS INGENIERIA MECANICA  
 DIRECTOR BERNARDO ALBERTO GARZON  
 TITULO DE LA TESIS DISEÑO, CÁLCULO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO  
PILOTO PARA TRATAMIENTOS TERMICOS A BASE DE GAS LICUADO DE  
PETROLEO EN LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

RESUMEN

El proyecto surge como solución a la problemática generada por el incremento en los costos de la electricidad como fuente primaria de energía para los tratamientos térmicos.

El horno es una eficiente unidad industrial diseñada para procesos tales como: normalizado, temple, revenido y recocido.

La geometría del horno, los refractarios y quemadores fueron diseñados, calculados y construidos por los integrantes del proyecto, acordes con los parámetros de funcionamiento del equipo.

CARACTERISTICAS

PAGINAS \_\_\_\_\_ PLANOS \_\_\_\_\_ ILUSTRACIONES \_\_\_\_\_ CD-ROM \_\_\_\_\_

**DISEÑO, CALCULO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO PILOTO PARA  
TRATAMIENTOS TERMICOS A BASE DE GAS LICUADO DE PETROLEO EN  
LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER**

**WILLIAM ALEXANDER CARRILLO IBAÑEZ**

**JOSE LUIS RAMIREZ OSPINA**

**LEONEL RINCON CANCINO**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA MECANICA**

**SAN JOSE DE CUCUTA**

**2001**

**DISEÑO, CALCULO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO PILOTO PARA  
TRATAMIENTOS TERMICOS A BASE DE GAS LICUADO DE PETROLEO EN  
LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER**

**WILLIAM ALEXANDER CARRILLO IBAÑEZ**

**JOSE LUIS RAMIREZ OSPINA**

**LEONEL RINCON CANCINO**

**Proyecto de Grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
BERNARDO ALBERTO GARZÓN  
Ingeniero Metalúrgico**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA MECANICA**

**SAN JOSE DE CUCUTA**

**2001**



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA MECANICA

**ACTA DE SUSTENTACION TRABAJO DE GRADO**

FECHA : 31 DE AGOSTO DEL 2001  
HORA : 4:00 DE LA TARDE  
LUGAR : LABORATORIO DE FUNDICION  
PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA MECANICA  
TITULO DE LA TESIS DISEÑO CALCULO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO PILOTO PARA TRATAMIENTOS TERMICOS A BASE DE GLP EN LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER.  
JURADOS: Ing. LUIS EMILIO VERA DUARTE  
Ing. CARLOS ARTURO CHACON  
Ing. PEDRO PABLO TORRES MEDINA

DIRECTOR : INGENIERO BERNARDO ALBERTO GARZON.

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	CODIGO	CALIFICACION		
		NUMERO	LETRA	
WILLIAM ALEXANDER CARRILLO IBAÑEZ	121948	4,4	CUATRO, CUATRO	APROBADA
JOSE LUIS RAMIREZ OSPINA	121810	4,4	CUATRO, CUATRO	APROBADA
LEONEL RINCON CANCINO	121981	4,4	CUATRO, CUATRO	APROBADA

FIRMA DE LOS JURADOS

  
\_\_\_\_\_  
LUIS EMILIO VERA DUARTE

  
\_\_\_\_\_  
CARLOS ARTURO CHACON

  
\_\_\_\_\_  
PEDRO PABLO TORRES M.

Vo.Bo.

  
\_\_\_\_\_  
JORGE ENRIQUE SALAZAR  
Coordinador Comité Curricular

Betty M.

A LA MEMORIA DE:

PEDRO JESÚS ROJAS GUALDRON  
INGENIERO METALÚRGICO

*“La muerte, siendo un hecho universal, es a la vez tan personal, que de ella puede decirse que es el momento en que espiritualmente se condensa la vida humana”*

Q.E.P.D

## DEDICATORIA

*A ti madre, porque si me ahorcaran en la más alta montaña, sé ¡oh! madre, que hasta allí me seguiría tu amor. Sí en el más profundo mar me ahogara, sé, ¡oh! madre mía, que hasta mí llegarían tus lagrimas. Sí me maldijeren en cuerpo y alma, ¡oh! madre mía, sé que tus oraciones invalidarían la maldición.*

*Al Todopoderoso porque en mis dificultades me ha ayudado, en mis desaciertos me ha iluminado, en mis soledades me ha acompañado, en mis enfermedades me ha fortalecido y en mis horas difíciles me ha consolado.*

*A mi padre porque a pesar de nuestras diferencias, siempre se ha preocupado por educarme.*

*A mis hermanos que los quiero mucho, siempre estaré con ustedes para tenderles una mano.*

*A Gladys mi novia, que por tu sencillez y tu amor incondicional me robaste el corazón.*

*A todos mis amigos, en especial a Leonel por esa gran amistad que siempre me ha brindado.*

WILLIAM

## *DEDICATORIA*

*A Dios, puesto que la meta que he alcanzado es una prueba fehaciente de su existencia, infinidad y grandeza.*

*A mi madre, ejemplo viviente, gracias al Todopoderoso, de perseverancia, trascendencia, dedicación, tenacidad, resignación, amor y superación, amalgama de sentimientos que representan en ella la mayor razón de mi existencia.*

*A mis hermanos, Costanza, Rosario y Cesar, por su apoyo incondicional.*

*A mis sobrinos, Leonardo y Alberto porque a pesar de sus cortas edades me han sabido entender y apoyar.*

*A mi abuela Asención.*

*A mi tía Lucía, mi tío Ricardo y Fenilson, ejemplos de perseverancia.*

*A mis dos compañeros de tesis, William y Jose Luis, por su comprensión, apoyo y tolerancia, no sólo en el desarrollo del proyecto sino en todos los aspectos.*

*A todas aquellas personas que de una u otra forma han sido o son parte de mi vida, brindándole estabilidad a mi ser.*

***LEONEL***

1  
DEDICATORIA

*A Dios, por no apartarme de este destino.*

*A mi Madre, por su apoyo firme e incondicional.*

*A mi Padre, por su voz de aliento.*

*A mi Abuela, para cumplirle su sueño.*

*A mi Esposa e hija, por ser la luz que inspira y guía mi destino, la fuerza que necesito y la paz que poseo.*

*A Ing. Pedro Rojas, por ser el motor principal en la realización de este proyecto.*

*A mis compañeros de tesis, por la perseverancia y tenacidad que nos termino uniendo para alcanzar esta meta tan sufrida y subvalorada por la Universidad.*

*José Luis*

## AGRADECIMIENTOS

Fue un reto muy grande la realización de este proyecto por ser multidisciplinario, integral y de investigación; gracias a Dios nos encontramos con personas que de una u otra forma nos brindaron su apoyo y amistad, dando lo mejor de sí, sin ningún tipo de recelo profesional y sin intereses económicos.

Ing. Ciro Alfonso Carrillo Moreno, Termotasajero S.A E.S.P  
 Ing. Alvaro Omaña, Termotasajero S.A E.S.P  
 Ing. Hugo Quintero, Termotasajero S.A E.S.P  
 Ing. Hernán García, Termotasajero S.A E.S.P  
 Ing. Juan Jaimes, Termotasajero S.A E.S.P  
 Ing. Luis Carrillo, Termotasajero S.A E.S.P  
 Al Departamento de Control y Regulación, Termotasajero S.A E.S.P  
 Al Departamento de Mantenimiento, Termotasajero S.A E.S.P  
 Miguel Dávila, Fundiciones Dávila  
 Martín Gelvez, Tejar Margres  
 Ing. Victor Hugo Prada, CINSA S.A  
 Ing. Fulvio Buitrago, CINSA S.A  
 Ing. Edgar Espinosa, Instrumentos y Controles Ltda.  
 Ing. Ottoniel Caceres, SENA  
 Tec. David Martínez, UFPS  
 Ing. Jorge Granados, UFPS  
 Ing. Pedro Perez Amaya, UFPS  
 Ing. Alberto Garzón, UFPS  
 Ing. Jorge Salazar, UFPS  
 Ing. Alberto Falla Arias, UFPS  
 Ing. Pedro Pablo Torres, UFPS  
 Ing. Carlos Arturo Chacón, UFPS  
 Ing. Emilio Vera, UFPS  
 Lic. Teresa Tenjo, UFPS  
 Ing. Martín Mendoza, Gas Rosario  
 Omar y Chucho, Laboratorio de Resistencias UFPS  
 Don Jorge, Conductor camioneta UFPS  
 Don Roberto, Taller de Mantenimiento UFPS  
 Doña Anselma, Laboratorio de Carbones UFPS

Doña Betty y Doña Janeth, Facultad de Ingenierías UFPS  
Julio Cesar Mantilla, Electricista  
Juan de Dios, Instructor SENA  
Beto, Planta de Coquización UFPS  
Ing. Oswaldo Chernistky, LINDBERG ARGENTINA S.A  
Ing. Jorge Guerra, RUBCAR-BORGI ARGENTINA  
Ing. Fernando Rivero, COMBUSTIÓN INTEGRAL CHILE  
Ing. Jorge Sánchez, GASTEC SRL PERU  
Ing. Nicholas LaGamba, PIRONYCS.INC ESTADOS UNIDOS  
Ing. Oscar Farías, Universidad de Concepción CHILE  
Ing. Carlos Román, Universidad Católica de Chile  
Ing. Alvaro Restrepo, ERECO  
Ing. Jorge Sánchez, FRIE UFPS  
Lic. Nidia Rincón, UFPS  
Gerson Perez, Victor Patiño, Freddy Carrillo  
Nancy Barajas y Mónica Berroterán, por su apoyo incondicional.

Pedimos disculpas a todas aquellas personas que no se hayan mencionado y les agradecemos de la forma más sincera por el éxito del proyecto.

*WILLIAM, JOSE LUIS Y LEONEL*

## **TABLA DE CONTENIDO**

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1. HORNOS INDUSTRIALES CON SISTEMAS DE COMBUSTIÓN A GLP</b>	3
<b>1.1 CLASIFICACION DE LOS HORNOS</b>	3
<b>1.1.1 Hornos estáticos</b>	3
1.1.1.1 Hornos estáticos de baja temperatura.	4
1.1.1.2 Hornos estáticos de media temperatura.	4
1.1.1.3 Hornos estáticos de alta temperatura.	5
<b>1.1.2 Hornos continuos</b>	5
<b>1.2 METODO PRACTICO DE RESOLUCIÓN</b>	6
<b>1.2.1 Sistemas radiantes</b>	7
<b>1.2.2 Sistemas Convectivos</b>	7
<b>1.2.3 Sistemas de impacto y llamas envolventes</b>	8
<b>1.2.4 Sistemas de calentamiento por aire</b>	9
<b>1.3 DEFINICION DE VARIABLES PARA EL HORNO PILOTO DE TRATAMIENTOS TERMICOS</b>	9
<b>1.3.1 Parámetros de diseño</b>	9
<b>2. MATERIALES REFRACTARIOS</b>	12
<b>2.1 CLASIFICACION DE LOS MATERIALES REFRACTARIOS</b>	12
<b>2.1.1 Según el contenido de su principal componente</b>	12

	pag.
<b>2.1.2 Según el carácter químico</b>	13
2.1.2.1 Refractarios Básicos	13
2.1.2.2 Refractarios Ácidos	13
2.1.2.3 Refractarios Neutros	13
<b>2.2 GRUPOS MAS IMPORTANTES DE LADRILLOS REFRACTARIOS</b>	14
<b>2.2.1 Briquetas de Sílice</b>	14
<b>2.2.2 Refractarios Sílico – Aluminosos</b>	15
<b>2.2.3 Ladrillos Aluminosos</b>	16
<b>2.3 PROCESAMIENTO DE LOS PRODUCTOS REFRACTARIOS</b>	17
<b>2.4 PROPIEDADES</b>	20
<b>2.4.1 Refractariedad</b>	21
<b>2.4.2 Resistencia mecánica en frío</b>	21
<b>2.4.3 Resistencia al choque térmico</b>	21
<b>2.4.4 Resistencia a la escoria</b>	22
<b>2.5 ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA FABRICACIÓN DE PROBETAS REFRACTARIAS</b>	23
<b>2.5.1 Materia prima</b>	23
<b>2.5.2 Preparación mecánica de materias primas para la elaboración de materiales refractarios</b>	23
2.5.2.1 Primer procedimiento	23
2.5.2.2 Segundo procedimiento	24
2.5.2.3 Tercer procedimiento	26
<b>2.5.3 Determinación de las propiedades de las probetas refractarias</b>	27
2.5.3.1 Determinación del Cono pirométrico equivalente (NTC 706)	28

	pag.
2.5.3.2 Determinación de la dilatación y contracción térmica	28
2.5.3.3 Determinación de la resistencia al choque térmico (NTC 1432)	29
2.5.3.4 Determinación de la condición térmica	30
<b>3. RECINTO, PERDIDAS DE CALOR, BALANCE TERMICO DEL HORNO</b>	<b>35</b>
<b>3.1 INTRODUCCION</b>	<b>35</b>
<b>3.2 MATERIALES REFRACTARIOS Y AISLANTES</b>	<b>35</b>
<b>3.2.1 Generalidades</b>	<b>35</b>
<b>3.3 PERDIDAS DE CALOR EN EL HORNO</b>	<b>36</b>
<b>3.3.1 Pérdidas de calor por las paredes del horno</b>	<b>37</b>
3.3.1.1 Determinación del coeficiente de convección interior	38
3.3.1.2 Transferencia de calor por radiación a través de los gases en el hogar	40
3.3.1.3 Determinación de las propiedades totales de los productos de combustión del GLP en las condiciones de operación del horno	40
<b>3.3.2 Pérdidas de calor por el calor almacenado en el revestimiento</b>	<b>44</b>
<b>3.3.3 Pérdidas de calor por puentes térmicos</b>	<b>45</b>
<b>3.4 CALOR ABSORBIDO POR LA CARGA DEL HORNO</b>	<b>46</b>
<b>3.5 BALANCE TÉRMICO DE HORNO</b>	<b>47</b>
<b>4. COMBUSTION</b>	<b>50</b>
<b>4.1 INTRODUCCION</b>	<b>50</b>
<b>4.2 DEFINICION</b>	<b>51</b>
<b>4.3 CONSERVACION DE LA MASA Y ESPECIES ATOMICAS</b>	<b>51</b>
<b>4.4 ESTEQUIOMETRIA DE LA REACCION DEL GLP</b>	<b>52</b>
<b>4.4.1 Composición del aire atmosférico</b>	<b>52</b>
<b>4.4.2 Combustión estequiométrica</b>	<b>53</b>

	pag.
<b>4.4.3 Combustión completa y aire en exceso</b>	54
<b>4.4.4 Razón Aire – Combustible (AC)</b>	56
<b>4.4.5 Resistencia de la mezcla</b>	57
<b>4.5 ANALISIS TERMODINÁMICO DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN DEL GLP EN EL HORNO</b>	58
<b>4.5.1 Limitaciones de los análisis estequiométricos</b>	58
<b>4.5.2 Análisis según la primera ley del proceso de combustión del GLP</b>	59
4.5.2.1 Análisis de la primera ley de sistemas reactivos	59
4.5.2.1.1 Sistemas de flujo permanente	59
<b>4.5.3 Calor generado por 1 Kmol de GLP en las condiciones de operación</b>	61
<b>4.5.4 Temperatura de llama adiabática en el proceso de operación del horno</b>	64
<b>4.5.5 Análisis según la segunda ley del proceso de combustión en el horno</b>	65
4.5.5.1 Cambio de entropía de sistemas reactivos aplicado al proceso de combustión	65
<b>5. QUEMADORES</b>	69
<b>5.1 INTRODUCCION</b>	69
<b>5.2 GENERALIDADES DE LA COMBUSTIÓN INDUSTRIAL</b>	69
<b>5.2.1 Requisitos básicos de la combustión industrial</b>	70
5.2.1.1 Campo de regulación	70
5.2.1.2 Estabilidad de operación	70
5.2.1.3 Forma y dimensiones de la llama	71
5.2.1.4 Espacio necesario para la combustión	71
5.2.1.5 Sistemas de protección y automatismos	71
<b>5.3 LLAMAS, CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES</b>	72
<b>5.3.1 Condiciones límites para que se produzca la llama</b>	73

	pag.
<b>5.3.2 Tipos de llama</b>	74
<b>5.3.3 Llamas premezcladas</b>	75
<b>5.3.4 Llamas de difusión</b>	75
<b>5.4 QUEMADORES DE GAS</b>	76
<b>5.4.1 Clasificación de los quemadores de gas</b>	78
5.4.1.1 Quemadores con llamas de difusión.	78
5.4.1.2 Quemadores de premezclado parcial	79
5.4.1.3 Quemadores con premezclado total	80
<b>5.5 DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS QUEMADORES</b>	81
<b>5.5.1 Generalidades</b>	81
<b>5.5.2 Mecánica de fluidos aplicada a instalaciones de combustión</b>	82
<b>5.5.3 Quemadores atmosféricos (Venturi)</b>	83
5.5.3.1 Inyectores	84
5.5.3.2 Importancia del inyector para la combustión	85
5.5.3.3 Cámara y tubo de mezcla	86
5.5.3.4 Longitud del tubo de mezcla	86
<b>5.5.4 Dimensionamiento de los quemadores del horno</b>	87
<b>6. TRATAMIENTOS TERMICOS</b>	89
<b>6.1 DEFINICION</b>	89
<b>6.1.1 Calentamiento del metal</b>	90
<b>6.1.2 Tiempo de permanencia</b>	90
<b>6.1.3 Velocidad de calentamiento</b>	91
<b>6.1.4 Velocidad de enfriamiento</b>	92
<b>6.2 TEMPLE DEL ACERO</b>	95

	pag.
<b>6.2.1 Tipos de temple</b>	96
6.2.1.1 Temple normal o martensítico	96
6.2.1.2 Temple escalonado	97
6.2.1.3 Martempering	98
6.2.1.4 Austempering	99
<b>6.2.2 Calentamiento</b>	100
<b>6.2.3 Temperatura de austenización</b>	102
<b>6.2.4 Tiempo de sostenimiento</b>	103
<b>6.2.5 Modos de enfriamiento</b>	105
<b>6.3 REVENIDO</b>	106
<b>6.3.1 Calentamiento hasta la temperatura</b>	107
<b>6.3.2 Tiempo de permanencia</b>	108
<b>6.4 RECOCIDO</b>	108
<b>6.4.1 Recocido de ablandamiento</b>	109
<b>6.4.2 Recocido isotérmico</b>	111
<b>6.4.3 Recocido para eliminar tensiones</b>	112
<b>6.4.4 Recocido de recristalización</b>	112
<b>6.5 NORMALIZADO</b>	113
<b>6.5.1 Procedimiento</b>	115
<b>7. INSTRUMENTOS DE CONTROL Y MEDIDA</b>	118
<b>7.1 VALVULA REDUCTORA DE PRESION</b>	119
<b>7.2 VALVULAS SOLENOIDES</b>	120
<b>7.3 SISTEMAS DE MEDICION Y CONTROL DE TEMPERATURA</b>	122
<b>7.3.1 Termocupla</b>	122

	pag.
<b>7.3.2 Indicador de temperatura</b>	123
<b>7.4 SISTEMAS DE IGNICION Y DETECCION DE LLAMA EN LOS QUEMADORES</b>	124
<b>7.4.1 Sistema de ignición</b>	124
<b>7.4.2 Sistema de detección de llama</b>	125
7.4.2.1 Detectores de ionización - rectificación	125
<b>7.5 SISTEMA DE PURGA</b>	128
<b>7.6 VALVULA DE CONTROL</b>	129
<b>7.7 PROGRAMADOR</b>	131
<b>8. MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA</b>	133
<b>8.1 DETALLES DE FABRICACION</b>	133
<b>8.2 PUESTA EN MARCHA</b>	135
<b>9. CONCLUSIONES</b>	136
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	138
<b>ANEXOS</b>	139