



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS



RESUMEN - TESIS DE GRADO

AUTORES WILLIAM ALEXANDER CARRILLO IBAÑEZ JOSE LUIS RAMIREZ
 ASPIRANTE LEONEL RINCON CANCINO
 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, infinitud 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, ERECOS
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.
INTRODUCCIÓN	1
1. HORNOS INDUSTRIALES CON SISTEMAS DE COMBUSTIÓN A GLP	3
1.1 CLASIFICACION DE LOS HORNOS	3
1.1.1 Hornos estáticos	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
1.1.2 Hornos continuos	5
1.2 METODO PRACTICO DE RESOLUCIÓN	6
1.2.1 Sistemas radiantes	7
1.2.2 Sistemas Convectivos	7
1.2.3 Sistemas de impacto y llamas envolventes	8
1.2.4 Sistemas de calentamiento por aire	9
1.3 DEFINICION DE VARIABLES PARA EL HORNO PILOTO DE TRATAMIENTOS TERMICOS	9
1.3.1 Parámetros de diseño	9
2. MATERIALES REFRACTARIOS	12
2.1 CLASIFICACION DE LOS MATERIALES REFRACTARIOS	12
2.1.1 Según el contenido de su principal componente	12

	pag.
2.1.2 Según el carácter químico	13
2.1.2.1 Refractarios Básicos	13
2.1.2.2 Refractarios Ácidos	13
2.1.2.3 Refractarios Neutros	13
2.2 GRUPOS MAS IMPORTANTES DE LADRILLOS REFRACTARIOS	14
2.2.1 Briquetas de Sílice	14
2.2.2 Refractarios Sílico – Aluminosos	15
2.2.3 Ladrillos Aluminosos	16
2.3 PROCESAMIENTO DE LOS PRODUCTOS REFRACTARIOS	17
2.4 PROPIEDADES	20
2.4.1 Refractariedad	21
2.4.2 Resistencia mecánica en frío	21
2.4.3 Resistencia al choque térmico	21
2.4.4 Resistencia a la escoria	22
2.5 ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA FABRICACIÓN DE PROBETAS REFRACTARIAS	23
2.5.1 Materia prima	23
2.5.2 Preparación mecánica de materias primas para la elaboración de materiales refractarios	23
2.5.2.1 Primer procedimiento	23
2.5.2.2 Segundo procedimiento	24
2.5.2.3 Tercer procedimiento	26
2.5.3 Determinación de las propiedades de las probetas refractarias	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
3. RECINTO, PERDIDAS DE CALOR, BALANCE TERMICO DEL HORNO	35
3.1 INTRODUCCION	35
3.2 MATERIALES REFRACTARIOS Y AISLANTES	35
3.2.1 Generalidades	35
3.3 PERDIDAS DE CALOR EN EL HORNO	36
3.3.1 Pérdidas de calor por las paredes del horno	37
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
3.3.2 Pérdidas de calor por el calor almacenado en el revestimiento	44
3.3.3 Pérdidas de calor por puentes térmicos	45
3.4 CALOR ABSORBIDO POR LA CARGA DEL HORNO	46
3.5 BALANCE TÉRMICO DE HORNO	47
4. COMBUSTION	50
4.1 INTRODUCCION	50
4.2 DEFINICION	51
4.3 CONSERVACION DE LA MASA Y ESPECIES ATOMICAS	51
4.4 ESTEQUIOMETRIA DE LA REACCION DEL GLP	52
4.4.1 Composición del aire atmosférico	52
4.4.2 Combustión estequiométrica	53

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

	pag.
5.3.2 Tipos de llama	74
5.3.3 Llamas premezcladas	75
5.3.4 Llamas de difusión	75
5.4 QUEMADORES DE GAS	76
5.4.1 Clasificación de los quemadores de gas	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
5.5 DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS QUEMADORES	81
5.5.1 Generalidades	81
5.5.2 Mecánica de fluidos aplicada a instalaciones de combustión	82
5.5.3 Quemadores atmosféricos (Venturi)	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
5.5.4 Dimensionamiento de los quemadores del horno	87
6. TRATAMIENTOS TERMICOS	89
6.1 DEFINICION	89
6.1.1 Calentamiento del metal	90
6.1.2 Tiempo de permanencia	90
6.1.3 Velocidad de calentamiento	91
6.1.4 Velocidad de enfriamiento	92
6.2 TEMPLE DEL ACERO	95

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

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