



DOMINGO SAVIO
UNIVERSIDAD PRIVADA

INGENIERIA INDUSTRIAL

TRABAJO DIRIGIDO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO PROTOTIPO PARA EL CALENTAMIENTO DE CRUDO COMO ALIMENTACION A LA TORRE DE DESTILACIÓN DEL C.I.I.- UPDS

Alexander Souza Dorado

Santa Cruz de la Sierra - Bolivia

2015



INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DIRIGIDO

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO
PROTOTIPO PARA EL CALENTAMIENTO DE
CRUDO COMO ALIMENTACION A LA TORRE
DE DESTILACIÓN DEL C.I.I.-UPDS**

Alexander Souza Dorado

**Trabajo Dirigido para optar al grado de Licenciatura en
Ingeniería Industrial**

**Santa Cruz de la Sierra - Bolivia
2015**

ABSTRACT

TITULO: : Diseño y construcción de un horno prototipo para el calentamiento de crudo como alimentación a la torre de destilación de la UPDS.

AUTOR (ES) : Alexander Souza Dorado

PROBLEMÁTICA

Necesidad de complementar el proceso de la torre prototipo de destilación del C.I.I.-UPDS que permita calentar el crudo a temperaturas deseadas al mismo tiempo y mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un horno prototipo para el calentamiento de crudo como alimentación a la torre de destilación del C.I.I.- UPDS.

CONTENIDO

El Trabajo Dirigido se divide en seis capítulos. En el capítulo I se detalla una introducción y antecedentes del estudio técnico, en el capítulo II, se describen aspectos teórico-conceptuales como marco teórico. En el capítulo III se presenta el Diseño del horno y sus especificaciones. En el Capítulo IV se muestra el proceso de construcción del horno prototipo. Finalmente en el Capítulo V se realiza el análisis Costo-Beneficio, para terminar con las Conclusiones y recomendaciones.

CARRERA	: Ingeniería Industrial
PROFESORES GUIA	: Msc. Ing. Norberto E. Justiniano Gallardo
	: Diseño, construcción, puesto en marcha y
DESCRIPTORES O TEMAS	calibración de horno prototipo para el calentamiento de crudo.
PERIODO DE INVESTIGACION	: Enero 2015 a octubre 2015
E-MAIL DEL AUTOR	: alexandersouza.d@hotmail.com

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen por darme luz y guía espiritual para mi crecimiento tanto intelectual como moral y por haberme permitido alcanzar una de las metas de mi vida.

A mi familia por brindarme la gran oportunidad de estudiar y el ánimo suficiente para seguir adelante.

A mi tutor Ing. Norberto Justiniano por el asesoramiento en el desarrollo del trabajo.

A mis docentes que iluminaron con sus conocimientos la formación integral de mi formación universitaria de cada una de las materias que impartieron en mi estancia en la Universidad.

Alexander Souza Dorado

DEDICATORIA

Dedicado a Dios y la Virgen.

A mi extinto padre Camilo Souza Da Costa por su enorme sacrificio, dedicación, y apoyo constante.

A mí querida madre Ana Dorado Sevilla por su gran amor y ternura ya que guio mis caminos para lograr mis objetivos de formación y trabajo.

A Viviana Marbel Sanchez Anzaldo, mi esposa y compañera de vida por su comprensión y apoyo constante que conjuntamente con mis hijos (Leonardo, Fabricio y Alessandra) a quienes muchas veces descuide por dedicarle a mis estudios universitarios.

Alexander Souza Dorado

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1	INTRODUCCION.....	1
1.2	ANTECEDENTES	2
1.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3.1	Problemática.....	3
1.3.2.	Esquema del Problema	3
1.3.3.	Esquema de la situación deseada	5
1.3.4.	Pregunta De Investigación	6
1.4.	OBJETIVOS	6
1.4.1	Objetivos General.....	6
1.4.2.	Objetivos Específicos	6
1.5	DELIMITACION.....	6
1.5.1	Límite Temporal.....	6
1.5.2	Límite Geográfico	7
1.5.3	Limite Sustantivo	7
1.6	JUSTIFICACION	7
1.6.1	Justificación Económica	7
1.6.2.	Justificación Social	7
1.6.3.	Justificación Técnica	8
1.7	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	8
1.7.1	Método de Estudio:.....	8
1.7.1.1	Cualitativo	9
1.7.2	Tipo de Investigación.....	9
1.7.3	Según el tiempo de ocurrencia y registros de los hechos	9
1.7.3.1.	Estudio retrospectivo.....	9
1.7.4	Según periodo y secuencia del estudio:	9
1.7.4.1.	Transversal	10
1.7.5	Según análisis y alcance de los resultados:	10
1.7.5.1.	Descriptivo	10
1.7.5.2.	Analítico	10

1.8.	FUENTES DE INFORMACIÓN	11
1.8.1	Fuentes Primarias	11
1.8.2	Fuentes Secundarias.....	11

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1	INTRODUCCIÓN.....	12
2.1.1	Características del diseño	12
2.1.2	El diseño de una maquina.....	13
2.1.3	Ciencias que sirven de fundamento al diseño de máquinas.....	15
2.1.4	Funciones y especificaciones en el diseño	15
2.1.5	Criterios para evaluar decisiones en el diseño de máquinas.....	16
2.2	DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR (CAD) Y FABRICACION ASISTIDO POR COMPUTADOR (CAM)	17
2.3	GENERACION Y TRANSFERENCIA DE CALOR.....	19
2.4	MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	19
2.4.1	Conducción.....	20
2.4.1.1.	Paredes planas.....	20
2.4.1.2.	Paredes cilíndricas	20
2.4.2	Convección	21
2.4.2.1.	Diferencia media logarítmica.....	22
2.4.2.2.	Coeficiente de convección.	23
2.4.3	Radiación	23
2.4.4	Coeficiente global de transmisión de calor	24
2.5	CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO DE HORNOS.....	25
2.5.1	Horno de Procesos (Convencional)	25
2.5.2	Hornos de Pirolisis.....	26
2.5.3	Tipos de Especificación.....	26
2.6	HORNOS DE REFINERÍA	28
2.6.1	Desarrollo de los hornos de refinería	30
2.6.2	Función de los hornos en las refinerías	31
2.6.3	Secciones de transferencia de calor de un horno.....	31

2.6.4	Sección de radiación	31
2.6.4.1.	Sección de pantalla de radiación o escudo.....	32
2.6.4.2.	Sección de convección.....	32
2.6.4.3.	Chimenea	32
2.6.5	Clasificación de hornos	33
2.6.5.1.	Características generales de hornos cilíndricos y de cabina.....	35
2.6.5.2.	Configuración de los tubos de la sección de radiación.....	37
2.6.5.3.	Arreglo o ubicación de los quemadores.....	38
2.6.5.4.	Hornos de acuerdo al servicio.....	38
2.6.6	Elementos principales que conforman un horno de refinería	40
2.6.6.1.	El serpentín.....	40
2.6.6.2.	Los quemadores.....	47
2.6.6.3.	La combustión	49
2.6.6.4	La chimenea	51
2.7	TIPOS DE HORNOS DE PROCESO.....	54
2.7.1	Hornos verticales-cilíndricos.....	54
2.8	DEFINICIONES	56
2.8.1	Arco del horno	56
2.8.2	Cabezal.....	56
2.8.3	Caja	57
2.8.4	Caja de cabezal.....	57
2.8.5	Calor absorbido (Heat Duty)	57
2.8.6	Calor disponible.....	57
2.8.7	Calor generado.....	57
2.8.8	Cámara de combustión	57
2.8.9	Cámara de convección.....	58
2.8.10	Cámara de radiación	58
2.8.11	Celda	58
2.8.12	Efecto de chimenea.....	58
2.8.13	Eficiencia del horno	58
2.8.14	Ensuciamiento o incrustaciones.....	58
2.8.15	Exceso de aire	58
2.8.16	Factor de servicio	59

2.8.17	Gases de combustión (Flue gas)	59
2.8.18	Guías desviadoras (Corbelling)	59
2.8.19	Guía de tubos	59
2.8.20	Lámina de tubos	59
2.8.21	Línea de transferencia.....	59
2.8.22	Mirillas de observación	60
2.8.23	Múltiple	60
2.8.24	Pared aislante.....	60
2.8.25	Paso.....	60
2.8.26	Película (Superficie)	60
2.8.27	Poder calorífico inferior (PCI)	60
2.8.28	Poder calorífico superior (PCS)	61
2.8.29	Poder calorífico total (PCT)	61
2.8.30	Precalentadores de aire	61
2.8.31	Quemador.....	61
2.8.32	Rango mínimo de operación (Turndown)	61
2.8.33	Sección de protección	61
2.8.34	Serpentín	62
2.8.35	Soplador de hollín.....	62
2.8.36	Soportes de tubos	62
2.8.37	Superficie extendida.....	62
2.8.38	Temperatura de chimenea	62
2.8.39	Temperatura de gases a la salida de la cámara de combustión o temperatura de la pared divisoria (Bridgewall temperature)	62
2.8.40	Temperatura de la masa de fluido (Bulk temperature)	62
2.8.41	Temperatura de película.....	63
2.8.42	Tiro.....	63
2.8.43	Tiro forzado.....	63
2.8.44	Tiro inducido	63
2.8.45	Tiro natural.....	63
2.8.46	Velocidad crítica (Velocidad sónica)	63
2.8.47	Tope de sección de radiación (Hip Section)	64
2.8.48	Tubos calentados por ambos lados	64

2.8.49	Tubos calentados por un lado	64
2.8.50	Velocidad másica	64

CAPITULO III

DISEÑO DEL HORNO PROTOTIPO

3.1	CONSIDERACIONES GENERALES.....	65
3.2	ANALISIS DEL FLUIDO A CALENTAR.....	65
3.3.1	Densidad ° API	66
3.2.2	Capacidades caloríficas del crudo	69
3.3	BALANCE TERMICO DEL FLUIDO A CALENTAR	70
3.3.1	Requerimiento de combustible.....	71
3.3.2	Cálculo de aire requerido para la combustión.....	73
3.3.3	Energía disipada en los gases de chimenea	74
3.3.3.1.	Exceso de Aire.....	75
3.3.3.2.	Eficiencia de la Combustión.	76
3.3.3.3.	Temperatura Teórica de Llama.	77
3.3.3.4.	Calor total requerido	80
3.3.4	Cámara de combustión.	81
3.3.5	Diseño de la chimenea.....	84
3.2.2	Dimensionamiento del serpentín de flujo de crudo	86
3.2.3	Transferencia de calor por el serpentín de flujo de crudo.....	88
3.2.3.1.	Temperatura de la superficie metálica	88
3.3	DISEÑO DE LOS QUEMADORES	94
3.4	CALCULO DEL AISLANTE.....	96

CAPITULO IV

CONSTRUCCION DEL HORNO PROTOTIPO

4.1	CONSTRUCCION DEL HORNO.	99
4.1.1	Horno de serpentín helicoidal.....	100
4.1.1.1.	Características.....	100
4.1.2	Serpentín.	102

4.1.2.1.	Características.....	102
4.1.3.	Chimenea.	104
4.1.3.1.	Características.....	104
4.1.4	Cuerpo del horno.	106
4.1.4.1.	Características.....	106
4.1.5	Danper (regulador de tiraje de una chimenea)	106
4.1.5.1.	Características.....	107
4.1.6	Quemador.....	108
4.1.6.1.	Características.....	108
4.1.7	Registro o reguladores de aire.	109
4.1.7.1.	Características.....	109
4.1.8	Termómetro Bimetálico.	110
4.1.8.1.	Características.....	110
4.2	CONSTRUCCION DE LINEAS O PIPING.....	111
4.2.1	Motobomba.....	111
4.2.2	Placa Orificio.....	113
4.2.2.1.	Características de la Placa Orificio.	114
4.2.3	Válvula de Acero al Carbono.....	115
4.2.3.1.	Características.....	115
4.2.4	Válvula galvanizada para Agua.....	116
4.2.4.1.	Características.....	116
4.2.5	Válvula de retención Horizontal de Bronce (Check).	117
4.2.6	Codo galvanizado de 90°	117
4.2.6.1.	Características.....	118
4.2.7	Niples galvanizados.....	119
4.2.7.1.	Características.....	119
4.2.8	Cupla galvanizado	119
4.2.8.1.	Características.....	119
4.2.9	Tubería o cañería galvanizado	120
4.2.9.1.	Características.....	120
4.2.10	Manómetro Bourdon de la Bomba.	121
4.2.10.1.	Características.....	122

4.3	CONSTRUCCION DE TANQUE ATMOSFERICOS.....	123
4.3.1	Tanque Atmosféricos.....	123
4.3.1.1.	Características.....	123

CAPITULO V

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

5.1.	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL HORNO PROTOTIPO.....	125
5.2.1	Mecánica de fluidos.....	129
5.2.2	Termodinámica.....	130
5.2.3	Transferencia de calor.....	130
5.2.4	Diseño y construcción.....	121
5.2	BENEFICIOS.....	129

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.	CONCLUSIONES.....	132
6.2.	RECOMENDACIONES	133
	BIBLIOGRAFÍA.....	134
	ANEXO	

INDICE DE DIAGRAMAS

DIAGRAMA N ° I. 1	
ARBOL DEL PROBLEMA.....	4
DIAGRAMA N ° I. 2	
ARBOL DE LA SITUACIÓN DESEADA	5
DIAGRAMA N° II.1	
PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO MECÁNICO	14
DIAGRAMA N° III. 1	
% VOLUMEN DE DESTILADO DE HIDROCARBUROS.....	69
DIAGRAMA N° III. 2	
CALORES ESPECÍFICOS DE HIDROCARBUROS LÍQUIDOS.....	70
DIAGRAMA N ° III. 3	
BALANCE DE CALOR.....	81
DIAGRAMA N ° III. 4	
DIMENSIONES DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....	84
DIAGRAMA N ° III. 5	
DIMENSIONES DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN Y CUERPO DEL HORNO.....	85
DIAGRAMA N ° III. 6	
DIMENSIONES DEL SERPENTIN DE CALENTAMIENTO.....	87
DIAGRAMA N ° III. 7	
BALANCE DE ENERGÍA PARA LA ZONA RADIANTE	90
DIAGRAMA N ° III. 8	
PERFIL DE TEMPERATURA DEL CRUDO Y DEL GAS DE COMBUSTIÓN.....	94
DIAGRAMA N ° III. 9	
PERFIL DE TEMPERATURA DEL CRUDO	96
DIAGRAMA N ° III. 10	
BALANCE DE ENERGÍA.....	97

INDICE DE CUADRO

CUADRO N° II. 1 LISTA DE PUNTOS CUBIERTOS NORMALMENTE EN LAS ESPECIFICACIONES DE HORNOS.....	27
CUADRO N° II. 2 MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE SERPENTINES DE HORNOS DE REFINERÍA.....	42
CUADRO N° II. 3 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ALETAS	44
CUADRO N° II. 4 DIMENSIONES LÍMITES PARA LAS ALETAS.....	46
CUADRO N° II. 5 DIMENSIONES LÍMITES PARA AGUJAS	47
CUADRO N° III. 1 DENSIDAD Y GRAVEDAD ° API DE CRUDOS	67
CUADRO N° III. 2 RANGOS DE EBULLICIÓN DE HIDROCARBUROS	67
CUADRO N° III. 3 ANÁLISIS DE LABORATORIOS DE CRUDO.....	68
CUADRO N° III. 4 BALANCES TERMICOS	71
CUADRO N° III. 5 PODER CALORÍFICO PARA GLP. (REFINERÍA PALMASOLA)	72
CUADRO N° III. 6 REQUERIMIENTO DE GLP	72
CUADRO N° III. 7 BALANCE DE MASA DE COMBUSTIÓN	73
CUADRO N° III. 8 CALORES SENSIBLES DE COMPUESTOS DE COMBUSTIÓN	75
CUADRO N° III. 9 AIRE DE COMBUSTIÓN NECESARIO PARA EL GAS NATURAL	76
CUADRO N° III. 10 COMPOSICIÓN DEL GAS DE COMBUSTIÓN CON AIRE EXCEDENTE DEL 20 %.....	76

CUADRO N° III. 11	
PORCENTAJE DE EFICIENCIA DEL GAS DE COMBUSTIÓN CON	
AIRE EXCEDENTE DEL 20 %	80
CUADRO N° III. 12	
CARGA CALORÍFICA DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN EN	
FUNCIONAMIENTO CONTINUO, INCLUYENDO EL CALOR DEL AIRE	
CALIENTE.....	82
CUADRO N° III. 13	
CARGA CALORÍFICA PARA q_{rc} CON POTENCIA PERMANENTE	83
CUADRO N° III. 14	
VELOCIDAD MÁSCICA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN.....	85
CUADRO N° III. 15	
PERFIL DE TEMPERATURA DEL CRUDO Y GAS DE COMBUSTIÓN.....	93
CUADRO N° III. 16	
PARÁMETROS TÍPICOS DE QUEMADORES PARA DISTINTOS TIPOS	
DE COMBUSTIBLES.....	95
CUADRO N° III. 17	
CLASIFICACIÓN DE QUEMADORES DE GAS SEGÚN COMBUSTIBLE	
VALORES DE DIÁMETRO LÍMITE Y DISTANCIA DE SEGURIDAD	
REFERIDOS A GASES COMBUSTIBLES	95
CUADRO N° IV. 1	
MATERIALES UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE HORNO.	99
CUADRO N° IV. 2	
ESPECIFICACIONES DE TUBERIAS AL CARBON SCH 80.....	102
CUADRO N° IV. 3	
DATOS DE LA MOTOBOMBA “HAPPY”	112
CUADRO N° V. 1	
RESUMEN DEL COSTO TOTAL	125
CUADRO N° V. 2	
DETALLE DE COSTOS DEL HORNO	126
CUADRO N° V. 3	
DETALLE DE COSTOS DE LÍNEAS Y ACCESORIOS	127
CUADRO N° V. 4	
DETALLE DE COSTOS DE TANQUES Y SOPORTE DE EQUIPO	128