

## CONTENIDO CURSO DE HORNOS

1.-	FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	5
1.1.-	FACTORES QUE INFLUENCIAN LA TRANSFERENCIA DE CALOR	5
1.1.1.-	Convección:	5
1.1.2.-	Radiación:	5
1.1.2.1.-	Distancia entre los objetos:	6
1.1.2.2.-	Tamaño del objeto que recibe el calor:	6
1.1.2.2.1	Diferencia de temperatura ente los objetos:	6
1.1.2.2.2	Tipo de superficie:	6
1.1.3.-	Conducción:	6
1.1.3.1.-	Superficie:	6
1.1.3.2.-	Diferencia de temperatura:	6
1.1.3.3.-	Conductividad térmica:	6
1.1.3.4.-	Espesor del material:	6
1.2.-	EQUIPOS PARA TRANSFERIR CALOR	6
1.2.1.-	Hornos:	7
1.2.2.-	Intercambiadores de calor:	7
1.2.3.-	Enfriador de casco y tubo:	7
1.2.4.-	Enfriador de aire:	7
1.2.5.-	Los rehervidores o calentadores:	7
2.-	COMBUSTIÓN	7
2.1.-	COMBUSTIBLES	8
2.1.1.-	Combustibles líquidos	8
2.1.1.1.-	Combustibles naturales	8
2.1.1.2.-	Combustibles procesados	8
2.1.2.-	Combustibles sólidos	8
2.1.2.1.-	Combustibles naturales	8
2.1.2.1.1	Hulla	8
2.1.2.1.2	Turba	8
2.1.2.1.3	Madera	8
2.1.2.2.-	Combustibles procesados	8
2.1.2.2.1	Carbón pulverizado	8
2.1.2.2.2	Combustibles carbonizados	9
2.1.3.-	Combustibles gaseosos	9
2.1.3.1.-	Combustibles naturales	9
2.1.3.2.-	Combustibles procesados	9
2.2.-	Gas combustible	9
2.2.1.-	Tabla 1. Características de gases combustibles saturados	9
2.3.-	Combustible residual de alta viscosidad (PITCH)	9
2.4.-	Combustible residual de baja viscosidad ( FUEL OIL):	10
2.5.-	Gas de coque	10
2.5.1.-	Poder calorífico:	11
2.5.2.-	Requerimientos de aire de combustión:	11
2.5.3.-	Volumen de gas de combustión	11
2.5.4.-	Temperatura adiabática de llama	11
2.5.5.-	Eficiencia	11
2.5.6.-	Tabla 2: Comparación del flexigas con combustibles convencionales	12
2.6.-	Valores caloríficos alto y bajo	12

2.6.1.- El alto o valor “bruto” (HHV)	12
2.6.2.- El bajo o valor neto (LHV)	12
2.6.2.1.- Tabla 3: Constantes físicas de hidrocarburos	13
2.6.2.2.- Fig. 1: Calor de combustión de gases parafínicos y olefinas	14
2.7.- Mecanismo de combustión	14
2.7.1.- Tabla 4: Procesos básicos de la combustión	15
2.8.- Condiciones generales para lograr una combustión eficiente	16
2.8.1.1.- Preparación del combustible para la combustión	16
2.8.1.2.- Conversión del combustible compuesto en combustible elementales (gases)	16
2.8.1.3.- Llevar los combustibles elementales y el aire en la proporción, al momento y la temperatura adecuados para la ignición y combustión	16
2.8.1.4.- Transferir calor desde los productos de la combustión a los tubos del horno	17
3.- QUEMADORES	17
3.1.- Quemadores de tiro forzado	17
3.1.1.- Quemador ESSO de alta intensidad SO	17
3.1.1.1.- Fig.2: Quemadores de alta intensidad Esso SO	18
3.1.1.2.- Fig.3 Curva de capacidad del quemador Esso SO	20
3.1.2.- Quemador ESSO modificado	20
3.1.2.1.- Aire precalentado	21
3.1.2.1.1 Fig.4: Quemadores de alta intensidad Esso SA	22
3.1.2.1.2 Fig.5: Curva de capacidad del quemador Esso SA	23
3.1.2.2.- Temperatura ambiente ASA	24
3.1.2.2.1 Fig.6: Quemadores de alta intensidad Exxo ASA	24
3.1.2.2.2 Fig.7 Capacidad del quemador Esso ASA	25
3.1.2.3.- Pistolas de combustible	26
3.1.2.3.1 Fig. 8 Pistolas de gas y aceite combustible	26
3.1.2.3.2 Fig.9 boquilla de aceite	27
3.1.2.4.- Montaje del piloto	27
3.1.2.4.1 Fig.10: Piloto de tiro forzado	28
3.1.2.4.2 Fig. 11: Pilotos de aspiración	29
3.1.2.4.3 Fig. 12: Distribución de tuberías para un quemador Exxon	30
3.1.3.- Encendido y operación de los quemadores Exxon	30
3.1.3.1.- Encendido y problemas del piloto	31
3.1.3.2.- Operación del quemador de gas	31
3.1.3.3.- Encendido y problemas del quemador de gas	32
3.1.3.4.- Operación del quemador de aceite	33
3.1.3.4.1 Fig. 13: Curva de capacidad de un quemador de aceite	34
3.1.3.5.- Encendido en el quemador de aceite	35
3.1.3.6.- Problemas en el quemador de aceite	36
3.1.3.6.1 Llama pequeña y pálida	36
3.1.3.6.2 Llama larga y amarilla brillante	36
3.1.3.6.3 Llama desproporcionada	37
3.1.3.6.4 Llama con chispas	37
3.1.3.6.5 Coque sobre el refractario del quemador	37
3.1.3.7.- Procedimiento para cerrar el quemador y el cambio de pistolas sucias	37
3.1.3.7.1 Solo con gas	37
3.1.3.7.2 Pistola de aceite	37

3.1.3.8.-	Quemador simultaneo de gas y aceite	38
3.2.-	Quemador de tiro natural	38
3.2.1.-	Quemador simple de gas	38
3.2.2.-	Quemador de combinaci3n gas/aceite:	39
3.2.2.1.-	Fig.14: Quemado VYD John Zink C.O.	40
3.2.2.2.-	Fig.15: Quemador de combinaci3n NAO	41
3.2.2.3.-	Fig.16: Curvas de capacidad de quemadores NAO	42
3.2.2.4.-	Fig.17: Quemador MAE John Zink CO	43
3.2.3.-	Quemadores de inspiraci3n tipo Tandem	43
3.2.3.1.-	Fig.18: Quemador tipo Tandem NAO	44
3.2.4.-	Quemador de combinaci3n HEXAD y DA&DB	45
3.2.4.1.-	Fig.19 Quemador HEXAD NAO	46
3.2.4.2.-	Fig.20: Quemador DB John Zink Co	47
3.2.5.-	Quemador de gas premezclador "Premix"	48
3.2.6.-	Quemador para gas de bajo poder calorífico	48
3.2.7.-	Quemador con ventilador autopropulsado	48
3.2.7.1.-	Fig.21: Quemador PREMIX (PM) John Zink Co.	48
3.2.7.2.-	Fig.22: Quemador DBY John Zink C.O.	50
3.2.7.3.-	Piloto para quemadores de tiro natural	51
3.2.8.-	Encendido y operaci3n de los quemadores de tiro natural	51
3.2.8.1.-	Fig.23: Elementos de reacci3n en quemadores autopropulsados	52
3.2.8.2.-	Fig.24: Quemador autopropulsado Coppus "Cool-Core"	53
3.2.8.3.-	Fig.25: Aerodinámica de combusti3n en un quemador coppus "Cool-Core"	54
3.2.8.4.-	Fig. 26: Piloto de aspiraci3n típico	55
3.2.8.5.-	Encendido y problemas en los pilotos	56
3.2.8.6.-	Operaci3n de los quemadores de gas de tiro natural	56
3.2.8.6.1	Encendido y problemas en los quemadores de gas	56
3.2.8.6.2	Operaci3n del quemador de combinaci3n de tiro natural	57
3.2.8.6.3	Encendido y problemas en los quemadores de aceite de tiro natural	58
4.-	HORNOS	59
4.1.-	Transferencia de calor en un horno	60
4.2.-	Radiaci3n en un horno	60
4.3.-	Convecci3n en el horno	60
4.4.-	Conducci3n en el horno	60
4.5.-	Hornos convencionales	61
4.5.1.-	Hornos cilíndricos verticales (CV)	61
4.5.2.-	Horno de cabina	62
4.5.2.1.-	Fig. 27. Horno cilíndrico vertical	63
4.5.2.2.-	Fig. 28: Horno de cabina típico	64
4.5.3.-	Hornos de cabina con tubos horizontales	64
4.5.3.1.-	Fig.29 Horno de cabina con tubos horizontales	65
4.5.3.2.-	Fig.30: Arreglos diferentes de cabinas	66
4.5.4.-	Hornos de cabina con tubos verticales	67
4.5.4.1.-	Fig. 31: Horno de cabina con tubos verticales	68
4.5.5.-	Hornos a chorro	68
4.5.5.1.-	Fig.32: Horno tipo a chorro "Jet"	69
4.5.6.-	Hornos de pirólisis (químicos)	70
4.5.6.1.-	Horno Selas	70

4.5.6.1.1	Fig. 33: Hornos reformadores	71
4.5.6.1.2	Fig. 34: Horno reformador Selas	72
4.5.6.2.-	Horno Foster Wheeler	72
4.5.6.3.-	Horno Alcorn	73
4.5.6.3.1	Fig. 35. Horno reformador Foster Wheeler	73
4.5.6.4.-	Horno Kellog-ICI	73
4.5.6.4.1	Fig.36: Horno reformador Alcorn	74
4.5.6.5.-	Horno Exxon	74
4.5.6.5.1	Fig.37: Horno Kellog-ICI	75
4.5.6.6.-	Problemas encontrados en hornos reformadores	75
4.5.6.6.1	Fig.38: Horno reformador Exxon	76
4.5.6.6.2	Fig.39: Temperatura y vida de los tubos reformadores	77
5.-	ENCENDIDO Y OPERACIÓN DE LOS HORNOS DE TIRO FORZADO Y DE TIRO NATURAL	79
5.1.-	Inspección del horno antes del arranque	79
5.1.1.-	Quemadores	79
5.1.2.-	Fraguado del refractario y aislamiento	80
5.1.2.1.-	Fig.40: Quemador SA	81
5.1.3.-	Serpentines de las secciones de convección y radiantes	81
5.1.3.1.-	Fig.41: Quemador ASA	82
5.1.4.-	Ventanillas de observación	83
5.1.5.-	Cubierta del horno	83
5.1.6.-	Compuerta reguladora de tiro	83
5.1.7.-	Instrumentación	84
5.1.8.-	Secado del horno	84
5.1.9.-	Procedimiento para el quemado en el horno durante el secamiento	85
5.1.10.-	Procedimiento de arranque del horno con aceite	87
5.1.11.-	Guías durante la operación normal del horno	88
5.1.11.1.-	Guías para los quemadores	88
5.1.11.2.-	Guías para el horno	89
5.1.12.-	PROCEDIMIENTO DE PARADA DEL HORNO	90
5.1.12.1.-	Procedimiento de parada normal	91
5.1.12.2.-	Procedimiento de paradas de emergencia	91
5.1.13.-	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SOPLADORES DE HOLLIN	93
5.1.13.1.-	Comprobación de los sopladores antes de arrancarlos	93
5.1.13.1.1	Fig. 42: Soplador de hollín tipo retráctil	94
5.1.13.2.-	Arranque de los sopladores	95
5.1.13.2.1	Fig.43: Válvula de ajuste de presión de soplado	96
5.1.14.-	OPERACIÓN EFICIENTE DEL HORNO	97
5.1.14.1.-	Bajo exceso de aire, combustión eficiente	97
5.1.14.1.1	Fig.44: Curva de exceso de aire/exceso de oxígeno	98
5.1.14.2.-	Maximización de la eficiencia de transferencia de calor en hornos	99
5.1.14.2.1	Fig.45: Frecuencia de retiro de hollín	100
5.1.14.3.-	Determinación de la eficiencia de un horno	101
5.1.14.3.1	Fig.46: Poder calorífico de combustibles líquidos	102
5.1.14.3.2	Fig.47: Calor específico del gas de combustión	103
5.1.14.3.3	Fig.48: Relación de masa de gas de combustión / gas combustible	104
5.1.14.3.4	Fig.49: Transmisión superficial de calor versus velocidad del aire	105
5.1.15.-	GUIAS DE PROBLEMAS EN LOS SOPLADORES	106

5.1.16.-	PROCEDIMIENTO DE DESCOQUIFICACION CON VAPOR/AIRE	
	106	
5.1.16.1.-	Preparación del horno	107
5.1.16.2.-	Etapa de descostramiento	107
5.1.16.3.-	Etapa de quemado	108
6.-	PROBLEMAS	109
6.1.-	PROBLEMA 1	109
6.2.-	PROBLEMA 2	110
6.2.1.-	Fig. 50: Calor disponible de un gas de 1000 BTU/PC (60°F)	113
6.2.2.-	Fig.51: Calor disponible de un combustible tipo “fuel oil” de 15°API	114
6.2.3.-	Fig.52: Masa de gas de combustión/combustible Vs Exceso de aire	115