
CONTENIDO

PROLOGO	xi
1. INTRODUCCION A LOS HORNOS DE RESISTENCIAS ...	1
1.1. Definición de hornos industriales y hornos de resistencias.	1
1.2. Campos de aplicación	3
1.3. Procedimientos	6
1.4. Clasificación de los hornos de resistencias	7
1.5. Factores para una elección correcta	8
2. RESISTENCIAS DE CALENTAMIENTO	11
2.1. Generalidades. Clasificación	11
2.2. Resistencias metálicas. Materiales	15
2.2.1. Aleaciones de base Ni-Cr	15
2.2.2. Aleaciones Fe-Cr-Al	19
2.2.3. Otros materiales metálicos	20
2.3. Disposición de resistencias metálicas. Terminales. Conexiones.	22
2.3.1. Disposición de resistencias de alambre	23
2.3.2. Disposición de resistencias de pletina	28
2.3.3. Resistencias tubulares	30
2.3.4. Terminales y conexiones	31
2.4. Cálculo de resistencias metálicas	34
2.4.1. Ejemplo de resistencia de alambre arrollado	38
2.4.2. Ejemplo de resistencia de pletina ondulada	41
2.4.3. Cálculo de resistencias de horno de carro	43
2.5. Resistencias no metálicas. Materiales	45

2.5.1.	Resistencias de carburo de silicio	45
2.5.2.	Resistencias de bisiliciuro de molibdeno	51
2.5.3.	Resistencias de grafito	58
2.5.4.	Resistencias de cromita de lantano	58
2.6.	Tubos radiantes eléctricos	59
2.7.	Resistencias blindadas	61
3.	RECINTO DEL HORNO. PERDIDAS DE CALOR	67
3.1.	Introducción	67
3.2.	Materiales refractarios y aislantes	67
3.2.1.	Generalidades. Clasificación	67
3.2.2.	Productos refractarios densos	68
3.2.3.	Productos refractarios aislantes	73
3.2.4.	Productos aislantes no refractarios (hasta 1.000°C).	74
3.2.5.	Productos calorífugos (hasta 100-150°C)	76
3.2.6.	Fibras cerámicas de alta temperatura	77
3.2.7.	Resumen	78
3.3.	Pérdidas de calor	79
3.3.1.	Pérdidas de calor por las paredes	79
3.3.2.	Pérdidas por calor almacenado en el revestimiento.	86
3.3.3.	Pérdidas por puentes térmicos	90
3.3.4.	Pérdidas de calor por aberturas	92
3.3.5.	Pérdidas de calor por el agua de refrigeración	92
3.3.6.	Pérdidas de calor por infiltración de aire	97
4.	INTERCAMBIO TERMICO DE LAS RESISTENCIAS CON LA CARGA EN EL CALENTAMIENTO Y EN EL ENFRIAMIENTO	101
4.1.	Introducción	101
4.1.1.	Radiación	101
4.1.2.	Convección	105
4.1.3.	Radiación y convección combinadas	108
4.1.4.	Conducción	110
4.2.	Calentamiento por radiación	112
4.2.1.	Corrección por la disposición de las resistencias	114
4.2.2.	Factor de corrección de la carga específica	115
4.3.	Calentamiento por radiación y convección	120
4.3.1.	Disposiciones de la ventilación forzada	121
4.3.2.	Ventiladores de recirculación y punto de funcionamiento	123
4.3.3.	Calentamiento por convección y pérdidas de calor del horno	125

4.4. Cálculo del tiempo de calentamiento	126
4.4.1. Generalidades y fórmulas	126
4.4.2. Método de incrementos finitos	129
4.4.3. Método aproximado	130
4.4.4. Consideraciones finales	134
4.5. Enfriamiento de la carga en el horno	137
4.5.1. Generalidades	137
4.5.2. Enfriamiento en horno continuo	137
4.5.3. Enfriamiento en horno discontinuo	139
5. DESCRIPCION DE LOS HORNOS DE RESISTENCIAS	143
5.1. Introducción	143
5.2. Hornos de fusión	144
5.2.1. Generalidades	144
5.2.2. Hornos de crisol	144
5.2.3. Hornos de reverbero	146
5.3. Hornos de recalentamiento	147
5.3.1. Generalidades	147
5.3.2. Hornos de fosa	148
5.3.3. Hornos de empujadora	149
5.3.4. Hornos de vigas galopantes	151
5.3.5. Hornos de mufla y de carro	152
5.4. Hornos de tratamientos térmicos	153
5.4.1. Clasificación	153
5.4.2. Hornos intermitentes para usos generales	154
5.4.3. Hornos continuos para usos generales	162
5.4.4. Hornos para usos especiales	172
5.4.5. Hornos de vacío	179
5.5. Atmósferas controladas en hornos industriales	181
5.5.1. Introducción	181
5.5.2. Generadores de atmósferas	184
5.5.3. Aplicaciones de las atmósferas controladas	188
5.6. Tanques de temple	188
5.6.1. Introducción	188
5.6.2. Horno discontinuo	189
5.6.3. Horno continuo	193
5.6.4. Balance térmico	193
6. EQUIPOS DE REGULACION Y CONTROL	197
6.1. Generalidades	197
6.2. Regulación de la temperatura	198
6.2.1. Termopares	199

6.2.2.	Lunetas de radiación	199
6.2.3.	Termómetros de resistencia	201
6.2.4.	Aparatos de regulación	201
6.2.5.	Organos de regulación	201
6.3.	Características de regulación de un horno	201
6.3.1.	Características estáticas	202
6.3.2.	Características dinámicas	202
6.4.	Métodos de regulación de temperatura	206
6.4.1.	Regulación en dos o tres niveles	207
6.4.2.	Regulación proporcional	209
6.4.3.	Regulación proporcional e integral	210
6.4.4.	Regulación proporcional, integral y derivada	211
6.4.5.	Regulación de consigna elevada	212
6.4.6.	Regulación autoajutable	214
6.5.	Regulación de potencia	214
6.5.1.	Regulación por contactores	215
6.5.2.	Regulación por tiristores	216
6.5.3.	Regulación en varias zonas	218
6.5.4.	Regulación a programa	219
7.	BALANCES ENERGETICOS Y DE EXPLOTACION	223
7.1.	Balance energético	223
7.1.1.	Generalidades	223
7.1.2.	Componentes básicos del balance energético	224
7.1.3.	Balance energético en funcionamiento estable	229
7.1.4.	Balance energético en funcionamiento real	232
7.2.	Balance de explotación	234
7.3.	Comparación entre calentamiento por gas y electricidad en hornos industriales	239
8.	CONCLUSIONES	243
APENDICES		
A1.	CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS MATERIALES REFRACTARIOS Y AISLANTES	247
A2.	CALCULO DE LOS TIEMPOS DE CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO POR LOS GRAFICOS DE HEISLER ..	253
A3.	CALCULO DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO POR INCREMENTOS FINITOS	259

A4.	ATMOSFERAS CONTROLADAS. REACCIONES ENTRE GASES Y METALES	261
A5.	EJEMPLOS DE HORNOS DE FUSION Y MANTENIMIENTO	267
	A5.1. Hornos de crisol	267
	A5.2. Hornos de reverbero	269
A6.	EJEMPLO DE HORNO DE RECALENTAMIENTO	271
A7.	EJEMPLOS DE HORNOS DE TRATAMIENTO TERMICO.	275
	A7.1. Línea de recocido isotérmico de piezas estampadas	275
	A7.2. Horno continuo de esmaltar	277
	A7.3. Horno continuo de carbonitruración	280
	A7.4. Horno continuo de recocido de botellas de vidrio	283
	A7.5. Hornos de campana para recocido de rollos de alambre.	286
	A7.6. Horno intermitente para tratamiento térmico de piezas de acero al manganeso	287
A8.	VOCABULARIO ESPECIALIZADO	291
A9.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	305
A10.	RELACION DE ALGUNOS FABRICANTES DE HORNOS DE RESISTENCIAS	307
	INDICE	311