

Problema - 1

Hallar la temperatura de combustión adiabática para la reacción estequiométrica de la gasolina líquida (C_8H_{18}) cuando se usa como comburente aire y oxígeno puro. En ambos casos el comburente se suministra a 25°C .

	C_p [kJ/kmol-K]		\bar{h}_f^0 [kJ/kmol]
CO_2	58.4	CO_2	-393520
H_2O	47.15	$\text{H}_2\text{O (v)}$	-241820
N_2	34.9	$\text{C}_8\text{H}_{18} \text{ (l)}$	-249910

Problema - 2

En una cámara de combustión entran 1.2 kg/min de C_8H_{18} líquido a $25^\circ C$ y 8 bar, quemándose con un cierto exceso de aire, el cual es comprimido y precalentado hasta 8 bar y 500 K antes de entrar en la cámara de combustión. Tras la combustión, los productos entran en una turbina adiabática, expandiéndose hasta 950 K y 2 bar. Suponiendo combustión completa, determinar el exceso de aire necesario para que la temperatura de entrada a la turbina no supere 1300 K, así como la potencia desarrollada en la misma.

	h (T) [kJ/kmol]			
	1300 K	950 K	500 K	298 K
CO_2	59522	40070	17678	9364
H_2O	48807	33841	16828	9904
N_2	40170	28501	14581	8669
O_2	42033	29652	14770	8682

	\bar{h}_f^0 [kJ/kmol]
CO_2	-393520
H_2O (v)	-241820
C_8H_{18} (l)	-249910

Problema - 6

El análisis volumétrico de un gas de síntesis es: 50% CO; 30% H₂; 10% CO₂; 10% H₂O. Determinar:

- a) Poderes caloríficos superior e inferior (MJ/Nm³), densidad relativa e índice de Woobe.
- b) Temperatura de combustión adiabática, con reactivos en condiciones estándar, en la combustión estequiométrica con O₂ y con aire
- c) Exceso de aire para que la temperatura de combustión adiabática sea de 1000 K
- d) Temperatura de combustión adiabática si los reactivos se rocían con agua líquida a 25°C hasta saturación. Supónganse los reactivos a 100 kPa.
- e) Calor específico de los productos en los casos (c) y (d)
- f) Temperatura de rocío de los productos en los casos (c) y (d). Supóngase que los productos están a 100 kPa.

	$\bar{h}_f^0 [kJ / kmol]$	$\bar{C}_p [kJ / kmol - K]$
CO ₂	-393520	61,42
CO	-110530	
H ₂ O (g)	-241820	53,70
H ₂ O (l)	-285830	
N ₂	0	36,64
O ₂	0	38,90

Problema – 7

Determinar los poderes caloríficos superior e inferior, la relación de aire estequiométrica y la temperatura de combustión adiabática con aire estequiométrico de un carbón del siguiente análisis másico elemental: 61,2% C; 4,7% H; 1,1% N; 8,8% O; 3,4% S; 8,8% ceniza; 12% humedad.

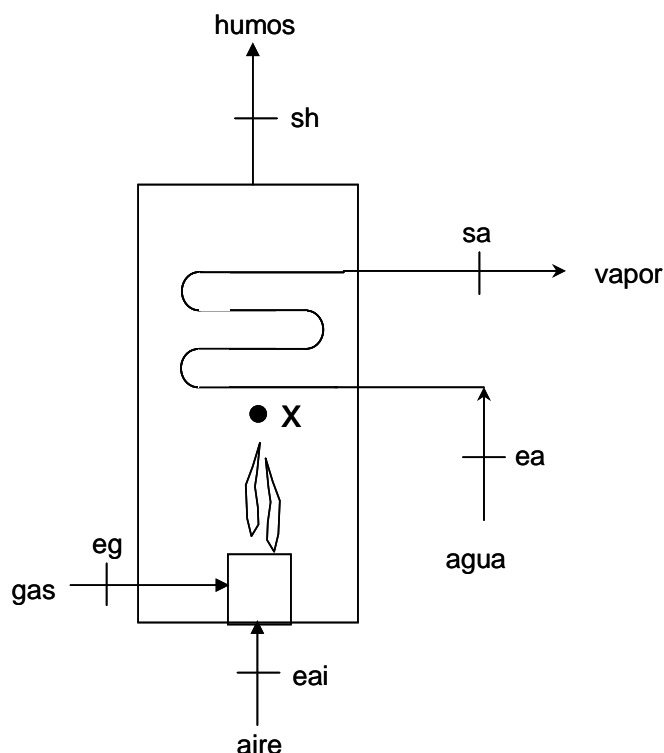
	\bar{h}_f^0 [kJ/kmol]	C_p [kJ/kmol-K]
CO ₂	-393520	61,42
H ₂ O (g)	-241820	53,70
H ₂ O (l)	-285830	
SO ₂	-296842	54,17
N ₂	0	36,64

Problema – 8

Se dispone de una caldera acuotubular de serpentín para producción de vapor, alimentada con “butano comercial” (90% vol de C_4H_{10} y 10% vol de C_3H_8). En un punto de trabajo llegan a la caldera 90 cm^3/min de agua a 8 bar y 26,4°C, saliendo de la misma como vapor saturado a la misma presión. Los humos salen de la caldera a 142°C, con una composición en base seca de CO_2 de 7,1%.

Asumiendo que la combustión es completa y que el combustible y el comburente (3,76 mol N_2 / mol O_2) entra en la caldera en condiciones estándar, determinar:

- Poder calorífico inferior del combustible en condiciones estándar [MJ/Nm^3]
- Exceso de aire
- Caudal de combustible (Ndm^3/h)
- Temperatura de los gases de combustión en la base del serpentín (punto X en la figura)
- Rendimiento de la caldera



	\bar{h}_f° [kJ/kmol]	\bar{C}_p [kJ/kmol-K]	M [kg/kmol]
C_4H_{10}	-126150	181,4	58,12
C_3H_8	-103850	139,5	44,1
CO_2	-393520	40,0	44,01
H_2O (v)	-241820	33,9	18,02
H_2O (l)	-285830	75,24	18,02
O_2	0	29,8	32,00
N_2	0	29,2	28,01

Propiedades del agua saturada (líquido vapor)

P [bar]	T [°C]	v_f [m³/kg]	v_g [m³/kg]	h_f [kJ/kg]	h_g [kJ/kg]	s_f [kJ/kg-K]	s_g [kJ/kg-K]
0,01	6,971	0,001000	129	29,3	2513	0,1059	8,9736
0,05	32,88	0,001005	28,2	137	2561	0,4761	8,3930
6	158,8	0,001101	0,316	670	2757	1,9313	6,7602
10	179,9	0,001127	0,194	762	2778	2,1387	6,5861

Problema – 9

En una central térmica de producción de energía se utiliza como combustible un gas sintético, cuya composición volumétrica es: 36.8% CO, 50% H₂, 10% CO₂ y 3.2% H₂O. La temperatura máxima que se puede alcanzar en el foco caliente está limitada a 1200 K, debido a restricciones tecnológicas. La combustión se produce a 100 kPa. Tanto el combustible como el aire se alimentan a 100 kPa y 25 °C. Se desea conocer:

- El exceso de aire necesario para cumplir la condición de temperatura (4 pts)
- La reducción de temperatura que produciría la saturación del combustible en las condiciones de exceso del apartado anterior (2 puntos)
- La temperatura mínima de los gases de escape, cuya presión es de 100 kPa, para que todos los productos se mantengan en estado de vapor (1 punto)
- El índice de Wobbe del combustible (3 pts)

Datos:

	\bar{h}_f° [kJ/kmol]	\bar{C}_p [kJ/kmol-K]	M [kg/kmol]
CO	-110530	31.50	28
CO ₂	-393520	61.42	44
H ₂	0	29.53	2
H ₂ O _(g)	-241820	53.70	18
H ₂ O _(l)	-285830	75.24	18
O ₂	0	38.90	32
N ₂	0	36.64	28

Tabla de presión de vapor del agua

T [°C]	P [kPa]
10	1,2
15	1,7
20	2,3
25	3,2
30	4,2
35	5,6
40	7,4
45	9,6
50	12,4
55	15,8

Problema - 10

Un cierto tipo de gas de hulla está compuesto exclusivamente por H_2 , CO y CH_4 . La temperatura de rocío de los humos procedentes de la combustión completa con un 40% de exceso de aire de dicho gas es de $64,24^\circ C$ cuando la presión a la que están los mismos es de 1,5 bar. La relación másica de aire/combustible estequiométrica es de 14,07 kg/kg.

Determinar:

- [5 p] a) Composición volumétrica del gas
- [3 p] b) Poder calorífico superior [kJ/Nm^3]
- [2 p] c) Índice de Wobbe [MJ/Nm^3]

Datos:

\bar{h}_f^0 [$kJ / kmol$]		M [$kg/kmol$]	
CO	-110530	C	12
CO ₂	-393520	O	16
CH ₄	-74850	H	1
H ₂ O (l)	-285830	N	14
H ₂ O (v)	-241820		

Composición del aire: 3,76 mol N_2 / mol O_2

Condiciones normales: 273 K ; 101,325 kPa

Presión de vapor del agua a $64,24^\circ C = 24$, kPa

Problema – 14

Hallar, para el metano (CH_4):

- a) Poderes caloríficos superior e inferior (termias/Nm^3)
- b) Exceso de aire para que la temperatura de combustión adiabática sea de 1000°C
- c) Temperatura de combustión adiabática en la combustión estequiométrica con aire
- d) Temperatura de combustión adiabática en la combustión estequiométrica con oxígeno

Problema – 16

Una caldera de condensación aprovecha el calor latente del agua de los humos para producir más calor que una caldera convencional, por lo que los humos han de salir a una temperatura inferior a la de rocío.

Se quiere analizar el funcionamiento de una de estas calderas, de la que se conoce que consume 2,48 Nm³/h de metano (CH₄) y produce 37 dm³/min de agua que entra a la caldera a 30°C y sale de la misma a 40°C. Los humos salen a 45°C y 101,325 kPa y tanto el aire como el metano entran a 101,325 kPa y 25°C. La combustión es estequiométrica.

Determinar:

- Cociente entre el poder calorífico superior e inferior del combustible
- Temperatura de rocío de los humos
- Rendimiento de la caldera, referido al poder calorífico inferior en condiciones estándar
- Exceso de aire para maximizar el rendimiento, manteniendo constante la temperatura de salida de humos

Datos:

Densidad del agua líquida: 1000 kg/m³ ; Masa molecular del agua: 18 kg/kmol

	h_f [kJ/mol]	C_p [kJ/kmol-K]
CH ₄	-74,873	36,42
CO ₂	-393,52	37,43
H ₂ O (v)	-241,83	33,74
H ₂ O (l)	-285,84	75,31
N ₂	0	29,19
O ₂	0	29,49

Presión de vapor del agua

T [°C]	P [kPa]	T [°C]	P [kPa]
30	4.247	50	12.35
32	4.76	52	13.63
34	5.325	54	15.02
36	5.948	56	16.53
38	6.633	58	18.17
40	7.385	60	19.95
42	8.21	62	21.87
44	9.113	64	23.94
46	10.1	66	26.18
48	11.18	68	28.6

Problema - 19

En una central de ciclo combinado los gases de combustión salen de la turbina a 530°C y 105 kPa, con un caudal de 580 kg/s y una composición, en base húmeda, de 3,2% CO₂; 6,3% H₂O; 76,5% N₂; 14% O₂.

La central dispone de unos quemadores de post-combustión de modo que se aprovecha el oxígeno presente en los gases que abandonan la turbina para quemarlos con gas natural (CH₄) hasta que su temperatura se eleva a 850°C, entrando así a la caldera de recuperación. Esta segunda combustión se supone completa.

Determinar:

- Caudal de gas natural [Nm³/min] que se requiere en la post-combustión, si éste es aportado a 25°C y 105 kPa.
- Potencia térmica aportada en la post-combustión.
- Los gases son enfriados en la caldera de recuperación hasta 302°C produciendo vapor de agua con una entalpía de 3.402 kJ/kg a partir de agua líquida con una entalpía de 1.280 kJ/kg. Determinar el flujo de vapor producido [kg/s].

	M [kg/kmol]	\bar{h}_f^0 [kJ/kmol]	\bar{C}_p [kJ/kmol-K]
CH ₄	16	-74.595	60,13
H ₂ O _(g)	18	- 241.811	38,22
H ₂ O _(l)	18	- 285.830	75,25
CO ₂	44	- 393.486	49,67
N ₂	28	0	31,12
O ₂	32	0	33,06

Problema - 20

En la cámara de combustión de un ciclo de Brayton CBT se introduce aire a 450°C y 18 bar y un gas procedente de la gasificación de carbón con una composición volumétrica de 70% CO y 30 % H₂ a 25°C y 18 bar. La combustión se considera completa, obteniéndose a su salida (entrada en la turbina) unos productos a 1200°C. Los productos abandonan la turbina a 545°C.

Determinar:

- Exceso de aire
- Consumo de combustible [Nm³/s] y gasto másico de aire [kg/s] para conseguir una potencia en la turbina de 465 MW.
- Se desea cambiar el combustible utilizado por metano. Indicar qué verificaciones habría que hacer para saber si tal cambio implica sustituir los quemadores de la cámara de combustión.

	M	\bar{h}_f^0	\bar{C}_p
	[kg/kmol]	[kJ/kmol]	[kJ/kmol-K]
H ₂ O _(g)	18	- 241.820	42,43
H ₂ O _(l)	18	- 285.830	75,25
CO ₂	44	- 393.520	54,90
CO	28	- 110.530	33,49
N ₂	28	0	33,11
O ₂	32	0	35,10
H ₂	2	0	30,73

Problema - 21

Un carbón tiene el siguiente análisis másico elemental 72,4% C; 6,3% H; 1,5% N; 8,8% O; 0,2% S; 10,8% humedad y 6% de cenizas.

Determinar:

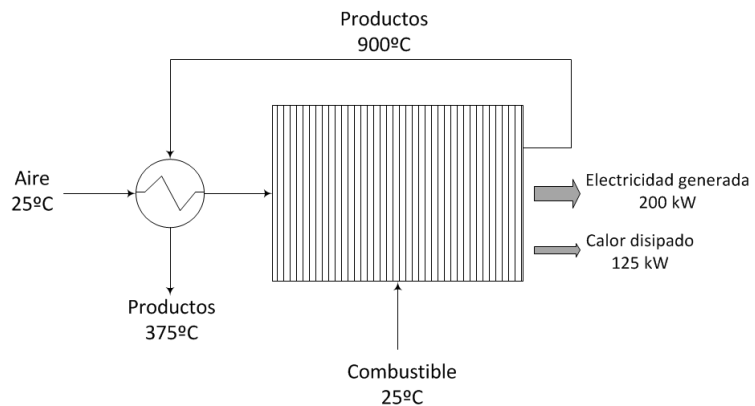
- PCS y PCI
- Relación másica aire-combustible estequiométrica.
- El carbón anterior se utiliza como combustible en una caldera de carbón pulverizado donde el aire llega a 300°C y el carbón a 25°C. Suponiendo la reacción completa, determinar el exceso de aire para que la temperatura de combustión adiabática sea de 1400°C.
- La caldera de la central entrega al agua del ciclo Rankine 1320 MWt. Determinar el consumo de carbón (ton/h) si los gases salen de la caldera a 300°C.

	M	\bar{h}_f^0	\bar{C}_p
	[kg/kmol]	[kJ/kmol]	[kJ/kmol-K]
H ₂ O _(g)	18	- 241.820	43,27
H ₂ O _(l)	18	- 285.830	75,24
CO ₂	44	- 393.520	55.53
SO ₂	64	-296.842	55,37
C	12	0	15,12
H ₂	2	0	29,22
N ₂	28	0	33,40
O ₂	32	0	35,39
S	32	0	11,67

Problema - 22

La figura adjunta representa una pila de combustible SOFC. Se trata de un dispositivo que a partir de aire y combustible produce directamente electricidad, entregando productos gaseosos y disipando calor al entorno. Aunque en la pila las reacciones que tiene lugar son electroquímicas, globalmente se pueden estudiar como una reacción de combustión.

La pila consume un combustible gaseoso composición volumétrica 70% CO y 30% H_2 que se suministra a 3 bar y 25°C. Los productos de la reacción salen de la pila a 900°C y 3 bar, composición de O_2 en base seca de libres de CO, llevándose a un intercambiador de calor para precalentar entra al mismo a 25°C y 3 bar y sale sin presión. Los productos abandonan el intercambiador a 375°C y sin pérdida de pila produce 200 kW de trabajo y libera forma de calor.



de H_2 que se de la con una 12,2% y el aire, que perder presión. La 125 kW en

Determinar:

- Exceso de aire
- Consumo de combustible [Nm^3/h]
- Rendimiento de la pila (referido al PCI)
- Temperatura de rocío de los productos

	\bar{h}_f^0 [kJ/kmol]	\bar{C}_p [kJ/kmol-K]
$\text{H}_2\text{O}_{(g)}$	- 241.820	38,57
$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	- 285.830	75,25
CO_2	- 393.520	46,51
CO	- 110.530	30,39
N_2	0	31,38
O_2	0	32,51
H_2	0	29,19

presión de saturación del agua			
T	p	T	p
[°C]	[kPa]	[°C]	[kPa]
25	3,17	55	15,76
28	3,783	58	18,17
31	4,497	61	20,89
34	5,325	64	23,94
37	6,282	67	27,37
40	7,385	70	31,2
43	8,651	73	35,48
46	10,1	76	40,24
49	11,75	79	45,53
52	13,63	82	51,39

Problema – 23

En un horno industrial se quema gas natural (supuesto CH_4 puro) y como medida de descarbonización se pretende sustituir por una mezcla de H_2 y CH_4 al 50% en volumen. Se asume que el hidrógeno se ha obtenido a partir de la electrólisis del agua mediante energías renovables, es decir, es verde.

Determinar:

- a) Emisiones de CO_2 del horno con gas natural [$\text{g CO}_2/\text{kWh-PCI}$].
- b) Emisiones de CO_2 del horno cuando se ha sustituido el gas natural por la mezcla [$\text{g CO}_2/\text{kWh-PCI}$].

Se cambia el origen del hidrógeno, de modo que ahora se emplea hidrógeno producido por reformado de biometano, que tiene unas emisiones (neutras) de CO_2 de $9,4 \text{ kg CO}_2/\text{kg de H}_2$.

Determinar:

- c) Emisiones de CO_2 del horno con la mezcla de gases si se capturase el CO_2 generado en la producción del hidrógeno (hidrógeno “dorado”).
- d) Analiza la conveniencia de emplear hidrógeno electrolítico (verde) o “dorado” desde el punto de vista del porcentaje de reducción de emisiones de CO_2 .

Datos:

PCI del CH_4 : 10 kWh/Nm^3

PCI del H_2 : 3 kWh/Nm^3

M del H_2 : 2 kg/kmol

M del CO_2 : 44 kg/kmol