

## CAPITULO IV

### BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA DE LA SECCION DE PIROLISIS

#### 1). DESCRIPCION DE LA SECCION DE PIROLISIS.

El etano fresco alimentado desde el límite de batería, se une a la corriente de etano recirculado proveniente de los fondos de la torre fraccionadora etano-etileno y a control de presión pasan a precalentarse a contracorriente con agua de quench en el cambiador EA-111. Una corriente lateral de mercaptanos como ácido sulfhídrico se inyecta con el propósito de disminuir los efectos de la carburización en los tubos de los hornos.

Una vez precalentada la carga desde 82.40°F, hasta 140°F ésta se divide en dos corrientes, cada una de las cuales se une a una corriente de vapor de dilución para después entrar en la sección de convección denominada MIXED PREHEAT donde la mezcla se precalienta desde 240°F, hasta 1250°F. Posteriormente la carga y después de pasar por la sección de cross over pasa a la sección de radiación donde la mezcla reaccionante se lleva a cabo calentandola desde 1250°F, hasta 1505°F.

Antes de entrar en la torre de apagado los efluentes del horno cambian calor con condensado enfriándose hasta 600°F y generando al mismo tiempo vapor de alta presión en los cambiadores de la línea de transferencia.

Por otra parte el agua proveniente de calderas para generar vapor de alta presión pasa primeramente a la sección de convección de un sobrecalentador de vapor donde se precalienta desde 280°F, hasta 306°F para después pasar mediante control de nivel en los domos de vapor, a la sección de convección del horno denominado "BOILER FEED WATER COIL" donde el condensado nuevamente se calienta desde 306°F hasta 509°F para producir una mezcla de vapor y condensado pasando éstos a los domos de vapor, donde el condensado acumulado pasa a calentarse en los cambiadores de la línea de transferencia para regresar nuevamente a los domos de vapor en los cuales hay una separación de las fases de vapor y condensado, pasando el primero a sobrecalentarse en la sección de radiación del sobrecalentador de vapor, de donde sale como vapor sobrecalentado de alta presión ( $T = 760^{\circ}\text{F}$      $P = 620 \text{ Lbs/plg}^2$ ).

2. BALANCE GLOBAL DE MATERIA.

El balance global de materia para un horno se estableció como sigue:

$$M_6 + M_8 = M_{10} = M_{11}$$

$$359.92 + 107.85 = 467.77 = 467.77$$

3. El balance particular para cada una de las corrientes de la sección de pirólisis se encuentra descrito en la Fig. 11.

4. BALANCE DE ENERGIA.

El balance de energía para el horno comprenderá el balance de energía calorífica para cada una de sus secciones:

A). Balance de energía para la sección de convección incluyendo las secciones de:

"" BOILER FEED WATER COIL "" y "" MIXED PREHEAT ""

B). Balance de energía para la sección de radiación:

Además dentro del balance de energía se incluirá el cálculo de la potencia calorífica del combustible, el cálculo de la efi-

ciencia térmica del horno y el número de quemadores.

a). Balance de energía para la sección de convección.

1. Balance de energía para la sección "BOILER FEED WATER COIL".

<u>CONDICIONES DE ENTRADA</u>		<u>CONDICIONES DE SALIDA</u>	
Temperatura:	= 306°F	Temperatura:	= 507°F
Presión:	= 767 Psia.	Presión:	= 740 Psia.
Vaporización:	= 0%	Vaporización:	= 9.3%
			en peso
Peso Molecular:	= 18.0	Peso Molecular:	= 18.0
Masa total:	= 50,570 <u>Lbs.</u>		
	Hr.		

El balance total de calor para esta sección se halla representado por la siguiente ecuación:

$$Q_t = Q_s + Q_\lambda \quad (1)$$

donde:

$Q_t$  = Es el calor total absorbido por el agua.

$Q_s$  = Es el calor sensible para elevar la temperatura del agua desde  $T_1$  a  $T_2$

$Q\lambda$  = Es el calor latente necesario para vaporizar  
el 9.3% en peso del total de agua.

De acuerdo a lo anterior la ecuación (1) puede representarse como sigue:

$$Q_t = M_t \bar{C}_p \Delta T + 0.093 M_t \lambda$$

donde:

$M_t$  = Es la masa total de agua.

$\bar{C}_p$  = Es el calor específico del agua a la temperatura promedio.

$\Delta T$  = Es el incremento de temperatura.

$\lambda$  = Es el calor latente de vaporización del agua a 740 Psia.

$\bar{T}$  = 407.5 °F

$\bar{C}_p$  = 1.15  $\frac{\text{BTU}}{\text{lbm } ^\circ\text{F}}$

a = 767 Psia = 695  $\frac{\text{BTU}}{\text{lbm}}$

sustituyendo valores en la ecuación (2) tenemos:

$$Q_t = 50,570 \times 1.15 (509 - 306) + 50,570 \times 0.093 \times 695$$

$$Q_t = 11,805,566.50 + 3,268.592$$

$$Q_t = 15,074,158.45 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr.}}$$

2. Balance de energía para la sección "MIXED  
PREHEAT COIL"

<u>CONDICIONES DE ENTRADA</u>		<u>CONDICIONES DE SALIDA</u>	
Temperatura	= 240°F	Temperatura	= 1250°F
Presión	= 85 Psia	Presión	= 50.0 Psia
Vaporización	= 98.4 en peso	Vaporización	= 100% en peso
Peso molecular	= 26.33	Peso Molecular	= 26.14

El balance total de calor para esta sección se halla representado por la siguiente ecuación:

$$Q_t = Q_{s1} + Q_{\lambda} + Q_{s2} \quad (3)$$

donde:

$Q_t$  = Es el calor total absorbido por la mezcla.

$Q_{\lambda}$  = Es el calor necesario para vaporizar el agua al  
100%

$Q_{s1}$  = Es el calor sensible para elevar la temperatura del agua hasta la temperatura de saturación.

$Q_{s2}$  = Es el calor sensible para elevar la temperatura de la mezcla desde  $T_1$  a  $T_2$ .

De acuerdo a lo anterior la ecuación (3) puede escribirse como sigue:

$$Q_t = 0.016 M_{H_2O} \bar{C}_{pH_2O} \Delta T + 0.016 M_{H_2O} \lambda_{H_2O} + M_t \bar{C}_p \Delta T \quad (4)$$

Cálculo aproximado del  $\bar{C}_p$  de la mezcla a  $\bar{T} = 745^\circ\text{F}$ .

De acuerdo al balance de materia representado en al Fig. 11; para la corriente No. 9, tenemos:

Metano	=	0.81% Mol.	$C_p = 0.84 \times 0.0081 = 0.0068$
Etileno	=	0.25% Mol.	$C_p = 0.81 \times 0.0025 = 0.0020$
Etano	=	63.80% Mol.	$C_p = 0.760 \times 0.638 = 0.4848$
Propano	=	1.60% Mol.	$C_p = 0.748 \times 0.0160 = 0.0119$
Agua	=	33.49% Mol.	$C_p = 0.49 \times 0.3349 = 0.1641$
			<u>0.6696</u>

$$\bar{C}_p = 0.6696 \frac{\text{BTU}}{\text{lbm } ^\circ\text{F}} \quad 0.67 \frac{\text{BTU}}{\text{lbm } ^\circ\text{F}}$$

NOTA: Para el cálculo de el  $\bar{C}_p$  de la mezcla no se tomaron en cuenta, el propileno, el dióxido de carbono y el ácido sulfhídrico, ya que su composición en la mezcla es muy baja.

$$M_{H_2O} = 9894.5 \frac{\text{Lbs}}{\text{Hr.}}$$

$$T_{S H_2O} \text{ a } 83 \text{ Psia} = 316.25^\circ\text{F.}$$

$$\lambda_{H_2O} \text{ a } 85 \text{ Psia} = 897.8 \frac{\text{BTU}}{\text{lbm}}$$

$$\bar{C}_p H_2O = 1.10 \frac{\text{BTU}}{\text{lbm} \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$Q_t = 0.016 \times 9894.5 \times 1.1 (316.25 - 240) + 0.016 \times 9894.5 \times 897.8 + 42878.92 \times 0.67 (1250 - 240)$$

$$Q_t = 29,171,573.84 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr.}}$$

b). Balance de energía para la sección de radiación:

El balance total de calor para esta sección puede representarse por la siguiente ecuación:

$$\Delta H \text{ total radiación} = \Delta H \text{ reacción a } 1505^\circ\text{F} + M_T \bar{C}_p \Delta T \quad (5)$$

1. Cálculo de  $\Delta H$  reacción a  $1505^\circ\text{F}$ .

El incremento de entalpía para una reacción química puede representarse por la siguiente ecuación:

$$\int_{\Delta H_1}^{\Delta H_2} d \Delta (H) = \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p dT \quad (6)$$

integrado tenemos:

$$\Delta H_2 - \Delta H_1 = \Delta C_p (T_2 - T_1) \quad (7)$$

$$\Delta H_2 = \Delta H_1 + \Delta C_p (T_2 - T_1) \quad (8)$$

donde:

$\Delta H_1$  = Es el calor de reacción a  $T_1$

$\Delta H_2$  = Es el calor de reacción a  $T_2$

$\Delta C_p = C_p \text{ productos} - C_p \text{ reactivos}$

Sin embargo cuando  $\Delta C_p$  varia con  $T$ , se tiene:

$$\int d(\Delta H) = \int \Delta C_p dT + \Delta H_0 \quad (9)$$

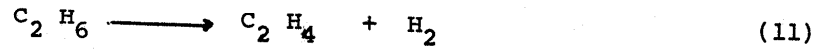
donde:

$\Delta H_0$  es una constante de integración

La variación del  $C_p$  con la temperatura corresponde a la siguiente ecuación:

$$C_p = a + b_T + cT^2 + dT^3 \quad (10)$$

De acuerdo a la reacción de pirólisis tenemos:



$$C_{p,H_2} = 6.947 - 0.200 \times 10^{-3} T + 0.481 \times 10^{-6} T^2$$

$$C_{p,C_2H_4} = 2.83 + 28.601 \times 10^{-3} T - 8.726 \times 10^{-6} T^2$$

$$C_{p,C_2H_6} = 2.47 + 38.201 \times 10^{-3} T - 8.245 \times 10^{-6} T^2$$

$$C_p \text{ reactivo} = 2.47 + 38.201 \times 10^{-3} T - 11.049 \times 10^{-6} T^2$$

$$C_p \text{ productos} = 9.777 + 18.401 \times 10^{-3} T - 8.245 \times 10^{-6} T^2$$

de donde:

$$\Delta C_p = 7.53 - 9.8 \times 10^{-3} T + 2.804 \times 10^{-6} T^2$$

Por lo tanto la ecuación (9) puede representarse como sigue:

$$\Delta H^\circ = \int_0^T (7.53 - 9.8 \times 10^{-3} T + 2.804 \times 10^{-6} T^2) dT + \Delta H_0 \quad (12)$$

Integrando tenemos:

$$\Delta H^\circ = 7.53 T - \frac{9.8 \times 10^{-3} T^2}{2} + \frac{2.804 \times 10^{-6} T^3}{3} + \Delta H_0 \quad (13)$$

Cálculo de  $\Delta H^\circ$  reacción a 298.2 °K a partir de los calores de formación

$$\Delta H^\circ \text{ reacción a } 298.2 \text{ °K} = \Delta H \text{ formación } C_2H_4 - \Delta H \text{ formación } C_2H_6$$

$$\Delta H^\circ \text{ reacción a } 298.2 \text{ °K} = 12500 - (-20240) = 32740 \frac{\text{Cal.}}{\text{Grmol}}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación 13 para el cálculo de  $\Delta H_0$ .

$$\Delta H_0 = 32740 - 7.53 (298.2) + 4.9 \times 10^{-3} (298.2)^2 - 0.9346 \times 10^{-6} (298.2)^3$$

$$\Delta H_0 = 30,905.5 \frac{\text{Cal}}{\text{Grmol}}$$

$$\Delta H^\circ \text{ reacción a } 1505^\circ\text{F} = 7.53 (1091.53) - 4.9 \times 10^{-3} (1091.53)^2 - 0.9346 \times 10^{-6} (1091.53)^3 + \Delta H_0$$

$$\Delta H^\circ \text{ reacción a } 1505^\circ\text{F} = 8219.24 - 5838.04 - 1215.43 + 30905.5$$

$$\Delta H^\circ \text{ reacción a } 1505^\circ\text{F} = 32,071.27 \frac{\text{cal}}{\text{grmol}} \times$$

$$\frac{1 \text{ BTU}}{252 \text{ cal}} \times \frac{454 \text{ Gr Mol}}{1 \text{ lb mol}}$$

$$\Delta H^{\circ} \text{ reacción a } 1505^{\circ}\text{F} = 57,779.60 \frac{\text{BTU}}{\text{lb mol}}$$

$$\Delta H^{\circ} \text{ reacción a } 1505^{\circ}\text{F} = 57,779.60 \frac{\text{BTU}}{\text{lb mol}} \times 557.63 \frac{\text{lb mol}}{\text{Hr}}$$

$$\Delta H^{\circ} \text{ reacción a } 1505^{\circ}\text{F} = 32,219.638.35 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}}$$

2. Calculo del calor sensible para elevar la temperatura desde 1250°F hasta 1505°F.

$$Q_s = 42,878.92 \times 0.67 \quad (1505-1250)$$

$$Q_s = 7,258,071.35 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}}$$

$$\Delta H \text{ Total radiación} = \Delta H \text{ reacción a } 1505^{\circ}\text{F} + Q_s$$

$$\Delta H \text{ Total radiación} = 32,219,638.35 + 7,258,071.35$$

$$\Delta H \text{ Total radiación} = 39,477,709.70 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}}$$