

## **Programa para la Optimización del Proceso de Diseño de Tratadores Térmicos de Crudo bajo la Norma API-12L para PDVSA**

Guía paso a paso:

- **Paso 1: Identificación de variables**

Variables involucradas en el diseño del tratador térmico:

- ✓ Flujo Total de Emulsión (W) - Bbls/día
- ✓ Fracción de Agua (X) - %
- ✓ Flujo de Aceite (Wo) - Bbls/día
- ✓ Flujo de Agua (Ww) - Bbls/día
- ✓ Temperatura de Entrada (T1) - °F
- ✓ Temperatura de Tratamiento (T2) - °F
- ✓ Temperatura Ambiente (T3) - °F
- ✓ Tiempo de Retención del Petróleo (To) - minutos
- ✓ Tiempo de Retención del Agua (Tw) - minutos
- ✓ Velocidad del Viento - MPH
- ✓ Gravedad API - °API

- **Paso 2: Desarrollo de interfaces del programa**

Ejemplo de formularios de ingreso de datos

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>
Flujo Total de Emulsión (W)	Ingrese en Bbls/día
Fracción de Agua (X)	Ingrese en %
Temperatura de Entrada (T1)	Ingrese en °F
Temperatura de Tratamiento (T2)	Ingrese en °F
Temperatura de Ambiente (T3)	Ingrese en °F
Tiempo de Retención del Petróleo (to)	Ingrese en minutos
Tiempo de Retención del Agua (tw)	Ingrese en minutos
Velocidad del Viento	Ingrese en MPH
Gravedad API	Ingrese en °API

- **Paso 3: Cálculos y optimización**

Para cada una de las variables identificadas, se aplican las mismas fórmulas descritas en la Tesis, según lo establecido en la norma API-12L:

- Cálculo de las tasas de flujo:

- Tasa de flujo de petróleo:

$$W_0 = \frac{W \times (100 - X)}{100}$$

- Tasa de flujo de agua:

$$W_w = \frac{W \times X}{100}$$

- Cálculo de volúmenes de retención:

- Volumen de retención del petróleo:

$$V_p = W_0 \times \left( \frac{t_0}{1440} \right)$$

- Volumen de retención del agua:

$$V_w = W_w \times \left( \frac{t_w}{1440} \right)$$

- **Paso 4: Cálculo de calentamiento**

$$Q = W \times \left( 6,44 + \left( 8,14 \times \frac{X}{100} \right) \right) \times (T2 - T1)$$

- **Paso 5: Cálculo de pérdidas de calor**

Se calcula las pérdidas de calor considerando la velocidad del viento y las dimensiones del tratador:

$$Q_{p\acute{e}rdida} = K \times D \times L \times (T2 - T3)$$

Donde K es una constante que depende de la velocidad del viento, D es el diámetro del tratador y L es la longitud del tratador.

- **Paso 6: Cálculo del calor total**

$$Q_{total} = Q + Q_{p\acute{e}rdida}$$

- **Paso 7: Selección de dimensiones del tratador**

Se usan las tablas de la norma API-12L para seleccionar el diámetro y longitud del tratador en función del volumen de retención y el calor total requerido.

«Los tratadores provistos para esta especificación son verticales u horizontales y están disponibles en los tamaños y presiones que se muestran en la Tabla 1 y la Tabla 2 como estándares nominales de la industria. Otros tamaños y clasificaciones de presión pueden ser proporcionados por acuerdo entre comprador y fabricante. La temperatura máxima de diseño puede estar limitada por las clasificaciones de brida o el material de la junta y estas pueden ser consultadas en las secciones correspondientes del Código ASME que se encuentren por debajo  $-20^{\circ}\text{F}$ .»

**Tabla 1 Dimensiones y presiones típicas para tratadores verticales**

Diámetro externo (ft)	LSS	Presión del diseño (psig)
3	10, 12 o 15	50
4	10, 12, 20, o $27\frac{1}{2}$	50
6	12, 20 o $27\frac{1}{2}$	50
8	20 o $27\frac{1}{2}$	40
10	20 o $27\frac{1}{2}$	40

**Fuente:** American Petroleum Institute (1994)

**Nota:** esta tabla muestra el valor mínimo de diseño de presión para cada diámetro externo y así mismo la variación de las longitudes de costura de cabeza para un tratador vertical.

**Tabla 2 Dimensiones y presiones típicas para tratadores horizontales**

Diámetro externo (ft)	LSS	Presión del diseño (psig)
3	10, 12 o 15	50
4	10, 12 o 15	50
6	10, 15 o 20	50
8	15, 20, 25 o 30	50
10	20, 30, 40, 50 o 60	50
12	30, 40, 50 o 60	50

**Fuente:** American Petroleum Institute (1994)

**Nota:** esta tabla muestra el valor mínimo de diseño de presión para cada diámetro externo y así mismo la variación de las longitudes de costura de cabeza para un tratador horizontal.

- **Paso 8: Clasificación de cámara de fuegos**

Se selecciona el diámetro de salida definido por tres variables fundamentales, tasa de transferencia de calor por hora (BTU/hr), área mínima (ft<sup>2</sup>) y diámetro exterior (ft) La tabla 3 muestra algunas clasificaciones para la cámara de combustión de los tratadores de emulsión verticales y horizontales provistos para esta especificación. Esta tabla proporciona una guía general para seleccionar el tamaño adecuado de un horno, ya sea vertical u horizontal, en función de sus necesidades específicas. Los datos

presentados se expresan en unidades del sistema inglés (pies, pies cuadrados y BTU/hora).

**Explicación de las columnas:**

- **Diámetro exterior (ft):** indica el diámetro exterior del horno, su tamaño físico.
- **Área mínima (sq. ft.):** representa el área mínima de la superficie interior del horno requerida para una determinada capacidad de calentamiento.
- **Capacidad calorífica (BTU/hr):** indica la cantidad de calor que el horno puede generar por hora. Esta medida es importante para determinar la capacidad de calentamiento del horno y si será suficiente para la aplicación.

**Tabla 3. Clasificaciones típicas de cámaras de combustión**

<b>Diámetro externo (ft)</b>	<b>Área mínima sq. ft. (para tratadores verticales)</b>	<b>Cantidad mínima de calor BTU/hr. (para tratadores verticales)</b>	<b>Área mínima sq. ft. (para tratadores horizontales)</b>	<b>Cantidad mínima de calor BTU/hr. (para tratadores horizontales)</b>
3	10	100.000	15	150.000
4	25	250.000	25	250.000
6	50	500.000	50	500.000
8	100	1.000.000	75	750.000
10	125	1.250.000	200	2.000.000
12	-	-	320	3.200.000

**Fuente:** American Petroleum Institute (1994)

**Nota:** estos son los requisitos mínimos sugeridos. Deben considerarse los requerimientos de calor del proceso y las características del fluido al dimensionar la cámara de combustión.

• **Paso 9: Generación de reportes**

Crea una plantilla de reportes que incluya todos los resultados calculados (el diámetro, longitud, calor requerido y capacidades de líquido). Un ejemplo de tabla de resultados sería:

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Flujo Total de Emulsión (W)	[Valor calculado] Bbl/día
Fracción de Agua (X)	[Valor ingresado] %
Tasa de flujo de petróleo (Wo)	[Cálculo resultante] Bbl/día

Tasa de flujo de agua (Ww)	[Cálculo resultante] Bbl/día
Volumen de retención del petróleo (Vp)	[Cálculo resultante] Bbl
Volumen de retención del agua (Vw)	[Cálculo resultante] Bbl
Calor requerido (Q)	[Cálculo resultante] BTU/hr
Pérdidas de calor	[Cálculo resultante] BTU/hr
Calor total (Qtotal)	[Cálculo resultante] BTU/hr
Diámetro del tratador	[Valor seleccionado] ft
Longitud del tratador	[Valor seleccionado] ft

### Ejemplo tipo ejercicio: Diseño de un tratador térmico horizontal

#### Datos iniciales

Supongamos que se tienen las siguientes condiciones para un crudo pesado:

- Flujo Total de Emulsión (W): 500 Bbls/día
- Fracción de Agua (X): 20 %
- Temperatura de Entrada (T1): 75 °F
- Temperatura de Tratamiento (T2): 140 °F
- Tiempo de Retención del Petróleo (to): 60 minutos
- Tiempo de Retención del Agua (tw): 30 minutos
- Velocidad del Viento: 15 MPH
- Gravedad API: 18 °API

#### -Paso 1: Cálculo de las tasas de flujo

1. Tasa de flujo de petróleo (Wo):

$$W_o = \frac{W \times (100 - X)}{100} = \frac{500 \times (100 - 20)}{100} = 400 \text{ Bbls/día}$$

2. Tasa de flujo de agua (Ww):

$$W_w = W \left( \frac{X}{100} \right) = 500 \left( \frac{20}{100} \right) = 100 \text{ Bbls/día}$$

#### -Paso 2: Cálculo de volúmenes de retención

1. Volumen de retención del petróleo (Vp):

$$V_p = W_o \times \left( \frac{t_o}{1440} \right) = 400 \times \left( \frac{60}{1440} \right) \approx 16,67 \text{ Bbl}$$

2. Volumen de retención del agua (Vw):

$$V_w = W_w \times \left( \frac{t_w}{1440} \right) = 100 \times \left( \frac{30}{1440} \right) \approx 2,08 \text{ Bbl}$$

**-Paso 3: Cálculo de calor requerido para el tratamiento**

$$Q = W \times \left( 6,44 + \left( 8,14 \times \frac{X}{100} \right) \right) \times (T_2 - T_1)$$

$$Q = 500 \times \left( 6,44 + \left( 8,14 \times \frac{20}{100} \right) \right) \times (140 - 75) \approx 262.210 \text{ BTU/Hora}$$

**-Paso 4: Cálculo de pérdidas de calor**

Supongamos que, según la tabla de la norma API-12L, para una velocidad del viento de 15 MPH, la constante K es 13.2. Si el diámetro del tratador es 4 ft y la longitud es 15 ft, calculamos las pérdidas de calor asumiendo que la temperatura ambiente T3 es 30 °F:

$$Q_{p\acute{e}rdida} = K \times D \times L \times (T_2 - T_3) = 13.2 \times 4 \times 15 \times (140 - 30) \approx 87.120 \text{ BTU/Hora}$$

**-Paso 5: Cálculo del calor total**

$$Q_{total} = Q + Q_{p\acute{e}rdida} = 262.210 + 87.120 \approx 349.330 \text{ BTU/hora}$$

**-Paso 6: Selección de dimensiones del tratador**

Con el calor total calculado, se consulta la tabla de la norma API-12L para seleccionar el diámetro y longitud del tratador. Supongamos que, según la tabla, para un calor total de 349.330 BTU/hora, se recomienda un diámetro de 4 ft y una longitud de 15 ft.

**-Paso 8: Generación de reporte**

Parámetro	Valor
Flujo Total de Emulsión (W)	500 Bbls/día
Fracción de Agua (X)	20 %
Tasa de flujo de petróleo (Wo)	400 Bbls/día
Tasa de flujo de agua (Ww)	100 Bbls/día
Volumen de retención del petróleo (Vp)	16,67 Bbl
Volumen de retención del agua (Vw)	2,08 Bbl
Calor requerido (Q)	262.210 BTU/hora
Pérdidas de calor	87.120 BTU/hora
Calor total (Qtotal)	349.330 BTU/hora
Diámetro del tratador	4 ft
Longitud del tratador	15 ft